



Nr C 764
Maj 2023



Försurning och övergödning i södra Sverige

Resultat från Krondroppsnetet till och med 2021/22

Gunilla Pihl Karlsson, Veronika Kronnäs, Per Erik Karlsson, Cecilia Akselsson, Sofie Hellsten



I samarbete med: Lunds universitet



Författare Gunilla Pihl Karlsson (IVL), Veronika Kronnäs (IVL), Per Erik Karlsson (IVL), Cecilia Akxelsson (Lunds universitet), Sofie Hellsten (IVL)

Medel från: Luftvårdsförbunden i Skåne, Blekinge, Kalmar län, Kronoberg, Jönköpings län och Östergötland, Vätternvårdsförbundet, samt Länsstyrelserna i Hallands, Jönköpings, Skåne och Västra Götalands län

Fotograf framsida: Timrilt, Percy Adolfsson

Rapportnummer C 764

ISBN 978-91-7883-505-8

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2023**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1 Krondroppsnetets mätningar – var, när och hur?	6
2 Kväve och övergödning.....	10
2.1 Minskar lufthalterna av kvävedioxid och ammoniak?.....	11
2.2 Förändras kvävenedfallet i södra Sverige?	15
2.2.1 Bulkdeposition av oorganiskt kväve, trender	16
2.2.2 Totaldeposition av oorganiskt kväve, trender	20
2.3 Läcker det kväve i skogarna i södra Sverige?	23
3 Försurning – fortfarande ett problem?	26
3.1 Minskar lufthalterna av svaveldioxid i södra Sverige?	27
3.2 Fortsätter den minskande nedfallstrenden för svavel?	29
3.3 Återhämtar sig skogsmarken från försurningen i södra Sverige?	34
4 Aktuellt & notiser.....	42
5 Tack.....	48
6 Referenser.....	49
Bilaga 1. Mätplatserna i södra Sverige	51
B1:1. Skåne län.....	52
B1:2. Blekinge län.....	55
B1:3. Hallands län	58
B1:4. Kalmar län	60
B1:5. Kronobergs län.....	62
B1:6. Jönköpings län	64
B1:7. Östergötlands län.....	66
B1:8. Västra Götalands län.....	68

Sammanfattning

På uppdrag av Luftvårdsförbunden i Skåne, Blekinge, Kalmar, Kronobergs, Jönköpings och Östergötlands län, Vätternvårdsförbundet, samt länsstyrelserna i Halland, Jönköping, Skåne och Västra Götalands län genomför IVL Svenska Miljöinstitutet, i samarbete med Lunds universitet, mätningar av lufthalter, atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi i södra Sverige inom Krondroppsnätet.

Mätningar har bedrivits i södra Sverige inom Krondroppsnätet i 36 år. Under det hydrologiska året 2021/22 gjordes mätningar vid 32 mätplatser. I Blekinge län startade mätningarna 1986, i Kronobergs län 1987, i Hallands län 1988, i nuvarande Skåne län, Jönköpings län och nuvarande Västra Götalands län 1989, i Östergötlands län 1991 och i Kalmar län 1994.

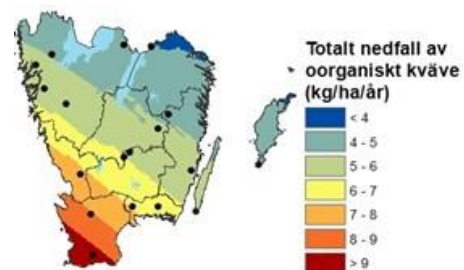
I denna rapport redovisas resultaten från aktiva mätplatser i södra Sverige under det hydrologiska året 2021/22. Ett hydrologiskt år omfattar oktober till och med september nästkommande år. Det hydrologiska året 2021/22 är alltså perioden 2021-10-01 till 2022-09-30. I rapporten redovisas även resultat från mätningar av lufthalter vid mätplatserna Kullahus och Stenshult i Skåne, samt lufthalter från ytor i södra Sverige inom den nationella miljöövervakningen SveLoD. Vidare redovisas resultaten i förhållande till mätningar inom Krondroppsnätet i övriga delar av landet. I rapporten redovisas även resultat från andra Krondroppsnätsrelaterade projekt samt aktuella händelser från 2022 som är relevanta ur Krondroppsnätets synvinkel. I Bilaga 1 visas information om de olika länens mätningar och mätplatser.

Mätningarna från 2021/22 ger, tillsammans med tidigare års mätningar, en bra bild över försurningsläget och kvävesituationen i södra Sverige.

Kvävenedfallet minskar, men ligger fortsatt över kritisk belastningsgräns, och förhöjda nitrathalter i markvattnet i skogsekosystemen förekommer ibland i ostörd, växande skog.

Högt kvävenedfall innebär en risk för kväveläckage till ytvatten och för påverkan på markvegetationens artsammansättning. Högt kvävenedfall kan också bidra till markförsurning. Den kritiska belastningsgränsen som tillämpas i Sverige är för barrskog 5 kg kväve (N) per hektar och år och för lövträd på 10 kg N per hektar och år. I södra Sverige överskrids den kritiska belastningsgränsen för barrskog i större delen av området. I de norra delarna av södra Sverige ligger kvävenedfallet numera kring gränsen. Den kritiska belastningsgränsen för lövträd överskrids numera bara ibland i sydvästra Sverige.

En geografiskt interpolerad karta över det totala kvävenedfallet till barrskog över södra Sverige, för det hydrologiska året 2021/22, visas i Figur S1. Det totala kvävenedfallet har utifrån motsvarande karta beräknats för samtliga län i Sverige. Det årliga totala kvävenedfallet i Skåne län under det hydrologiska året 2021/22 beräknas till 7-10 kg per hektar, i Hallands län till 6-8 kg per hektar, i Blekinge län till 6-7 kg per hektar, i Kronobergs län till 5-8 kg per hektar, i Jönköpings län till 5-7 kg per hektar, i Västra Götalands län till 4-7 kg per hektar, i Kalmar län till 4-5 kg per hektar och i Östergötlands län till 4-5 kg per hektar.



Figur S1. Totalt nedfall av oorganiskt kväve till skog under det hydrologiska året 2021/22.

En statistisk analys av totaldepositionen av oorganiskt kväve till barrskog, baserad på de hydrologiska åren 2001/02 – 2021/22, visade en statistiskt signifikant minskning av kvävenedfallet med 43 % i sydvästra Sverige, 47 % i sydöstra Sverige och 30 % i norra Sverige.

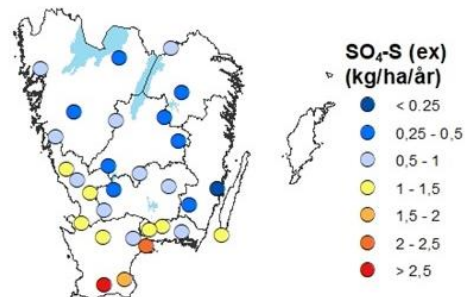
I Sveriges skogar tas vanligtvis nästan allt oorganiskt kväve upp av träd, övrig vegetation och markens mikroorganismer, med mycket låg kväveutlakning till markvattnet under rotzonen i ostörd växande skog som följd. I södra Sverige finns dock flera provytor med höga kvävehalter i markvattnet i växande ostörd skog, vilket antyder att skogen är kvävemättad och inte kan tillgodogöra sig allt tillfört kväve. Dessutom blir halterna av kväve i markvattnet ofta höga efter stormskador, avverkning eller andra störningar, vilket bidrar till kväveutlakning till grund- och ytvatten och övergödning av dessa.

Svavelnedfallet i södra Sverige är numera lågt, men många skogsmarker är fortfarande försurade.

Försurning av mark och vatten orsakas av svavel- och kvävenedfall, men även av skogsbruk, eftersom träd tillväxt innebär försurning, som permanentas när biomassa skördas och förs bort från skogen. Nedfall av svavel är den största orsaken till försurning av mark och vatten i Sverige. Både svaveldioxidhalter i luft och svavelnedfall till skog har dock minskat i hela Sverige de senaste decennierna. Minskningen kan förklaras av den kraftiga minskningen av svavelutsläpp, som främst beror på att användningen av svavelinnehållande kol och olja i Europa har minskat och rökgaser renats. Svavel finns också naturligt i mindre mängd i havsvatten, och en del av nedfallet av svavel kommer från havssalt. Detta nedfall är naturligt förekommande och åtföljs av buffrande ämnen, varför vi räknar bort det.

Svavelnedfallet (utan havssaltbidraget) till skogen i södra Sverige har minskat kraftigt sedan starten av Krondroppsnetets mätningar. En statistisk analys av svavelnedfallet utan havssaltsbidraget, baserad på de hydrologiska åren 1996/97 – 2021/22, visade en statistiskt signifikant minskning i samtliga tre regioner i Sverige med 90, 89 och 70 % för sydvästra, sydöstra respektive norra Sverige. Varje enskild mätplats visade också på statistiskt säkerställda minskningar.

Svavelnedfallet i Sverige har generellt varit som högst vid exponerade lägen längst i sydväst. Så var det även året 2021/22, Figur S2. Vid skyddade platser och längre norrut är svavelnedfallet numera lågt i Sverige. Under 2021/22 var svavelhalterna ännu lägre än de varit de senaste åren vid nästan alla mätplatser i södra Sverige. Högst svavelnedfall uppmättes vid Stenshult i Skåne på 2,5 kg per hektar, följt av Ryssberget i Blekinge län med 2,0 kg per hektar. Allra lägst svavelnedfall i södra Sverige uppmättes vid Rockneby med cirka 0,2 kg per hektar, vilket är ungefär lika lågt som i skyddade lägen i norra Sverige.



Figur S2. Totalt nedfall av svavel (exklusive svavel i havssalt) till skog i södra Sverige under det hydrologiska året 2021/22.

Markvattnets försurningsstatus vid Krondroppsnetets mätplatser beror i stor utsträckning på nuvarande och historiskt nedfall av svavel på platsen, i kombination med markens buffringsförmåga. På vissa platser, och under vissa perioder, kan även andra faktorer ha stor påverkan. Detta kan till exempel vara överskott av kväve som inte tas upp av vegetationen (exempelvis efter avverkningar eller andra störningar på skogen), havssaltsnedfall som leder till jonbyte i markpartiklarna samt olika former av störningar i marken som kan påverka halten löst organiskt kol i marken. På längre sikt påverkar även skogsbruket markvattnets försurningsstatus.

Resultaten från markvattenmätningarna visar att de allra flesta Krondroppsytor i södra Sverige är eller har varit försurningspåverkade. Flera är fortsatt kraftigt försurade, och flera återhämtar sig inte från försurningen. Bara fyra av tolv ytor i södra Sverige med långa tidsserier har en statistiskt säkerställd positiv trend i markvattnets buffrande förmåga, ANC, och två har en statistiskt säkerställd fortsatt försämring vad gäller ANC. Ett negativt ANC-värde innebär att nedfallet av försurande ämnen inte neutraliseras i marken utan påverkar ekosystemen negativt, samt att marken kan exportera syra till grund- och ytvatten. Nästan 60 % av markvattenmätningarna gjorda under det hydrologiska året 2021/22 i södra Sverige visade på negativa ANC-värden.

pH i markvattnet är lågt på de flesta ytor i södra Sverige. Ett pH-värde under 5,5 innebär en måttlig surhet och hela 87 % av mätvärdena för det hydrologiska året låg under detta värde. 6 % låg under 4,4, vilket innebär kraftigt surt markvatten. Fem ytor med långvariga mätserier hade dock en statistiskt säkerställd ökning av pH-värdet och bara en yta med långvarig mätserie hade en statistiskt säkerställd minskning av pH-värdet.

1 Krondroppsnetets mätningar – var, när och hur?

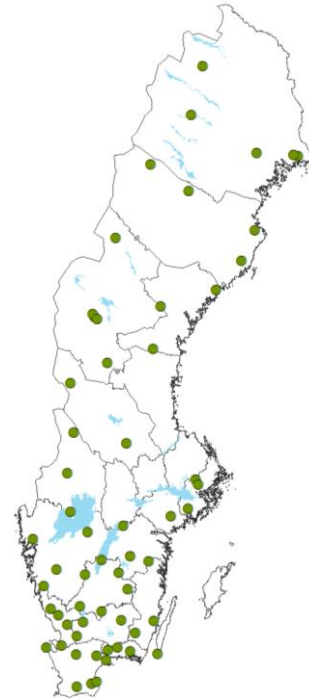
Fälleshult Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson

Inom Krondroppsnätet genomfördes under det hydrologiska året 2021/22 mätningar vid 63 provytor i skog och på öppet fält fördelade över hela landet. Här mäts lufthalter, våtdeposition, torrdeposition, krondropp och markvattenkemi i varierande omfattning. Ett stort antal ämnen och parametrar mäts, däribland svavel- och kväveföreningar, som har stor betydelse för försurnings- och övergödningproblematiken.

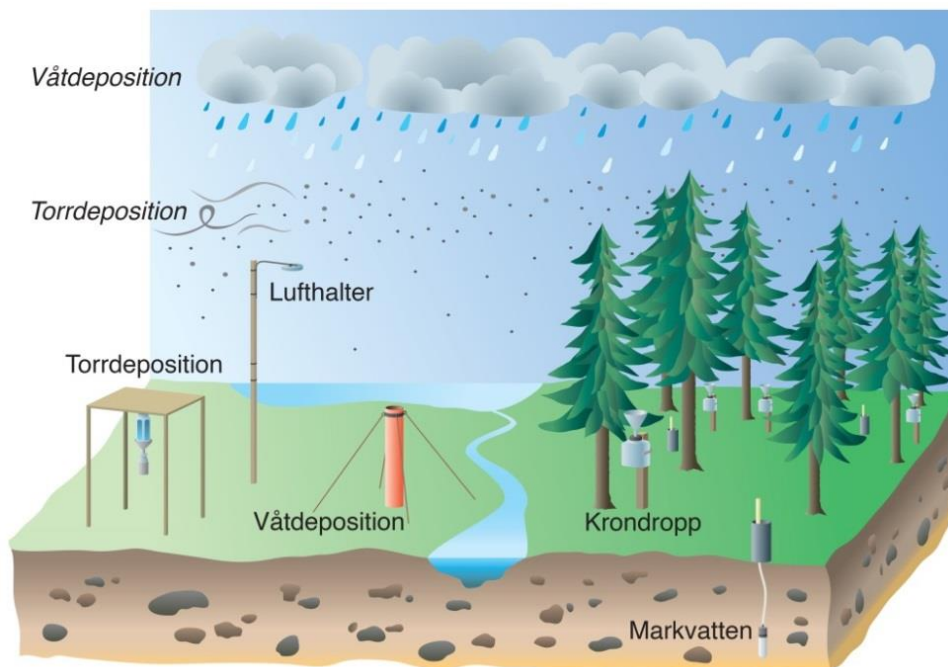
Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnätet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har provytor flyttats vid avverkning samt efter kraftiga störningar, till exempel vid omfattande stormskador. Idag bedrivs mätningar på 63 platser i Sverige, Figur 1, och numera finns mätserier med mer än 35 års data på några av de ytorna.

Mätningarna bedrivs både på öppet fält och i skogen under träd-kronorna, Figur 2. Nedfall och lufthalter mäts månadsvis, medan markvattenkemi mäts tre gånger om året för att representera förhållandena i början, under respektive i slutet av vegetationsperioden.

Allt arbete inom Krondroppsnätet från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorerna innehar ackreditering för de kemiska analyserna. Detta ger en hög kvalitet på data, och garanterar att data från olika platser och från olika år är jämförbara.



Figur 1. Samtliga ytor inom Krondroppsnätet 2021/22.



Figur 2. Inom Krondroppsnätet mäts lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi. Nedfallet mäts dels på öppet fält, dels under träd-kronorna som krondropp. Vissa ämnen samverkar med träd-kronorna, och därför används även strängprovtagare för att kunna bestämma torrdepositionen av dessa ämnen. (Illustration: Bo Reinerdahl)

Mätningar på öppet fält

Våtdeposition av flera olika ämnen mäts med nederbördsprovtagare på öppet fält, där även torrdeposition på vissa ytor mäts med hjälp av strängprovtagare. Likaså mäts i vissa fall luft-halterna av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon på öppet fält på tre meters höjd över marknivå.



Foto: provtagare på öppet fält



Foto: lufthaltsprovtagare

Våt- respektive torrdeposition

Det samlade nedfallet av olika ämnen till skog involverar flera olika processer. En del av nedfallet sker via nederbörden, vilket kallas våtdeposition. En annan del sker genom att gaser och partiklar "fastnar" i trädkronorna, vilket kallas torrdeposition. Det som avsatts som torrdeposition sköljs med nederbörden till skogsmarken i form av krondropp. Krondropp ger därför i teorin ett samlat mått på summan av våt- och torrdeposition. Torrdepositionen skulle därför kunna beräknas som skillnaden mellan nedfall som krondropp och nedfall via nederbörd på öppet fält. Dock kan vissa ämnen tas upp direkt i trädkronorna, alternativt läcka ut från träd-kronorna. Detta gör att krondroppsmätningarna ger ett bra mått på det samlade nedfallet endast för ämnen som inte samverkar med trädkronorna i någon större utsträckning, såsom svavel, natrium och klorid. För övriga ämnen, exempelvis kväve och baskatjoner, krävs kompletterande mätningar med strängprovtagare, för att korrekt kunna beräkna torrdepositionen.



Foto: strängprovtagare

Mätningar i skogen

Under trädkronorna i skogen mäts krondropp, som beskrivs ovan och markvattenkemi. Kemin i markvattnet mäts under trädens rötter för att undersöka effekter av nedfall på skogsmarkens reaktion. Provtagningen görs med hjälp av undertryckslysimetrar som suger vatten i mineraljorden på 50 centimeters djup.



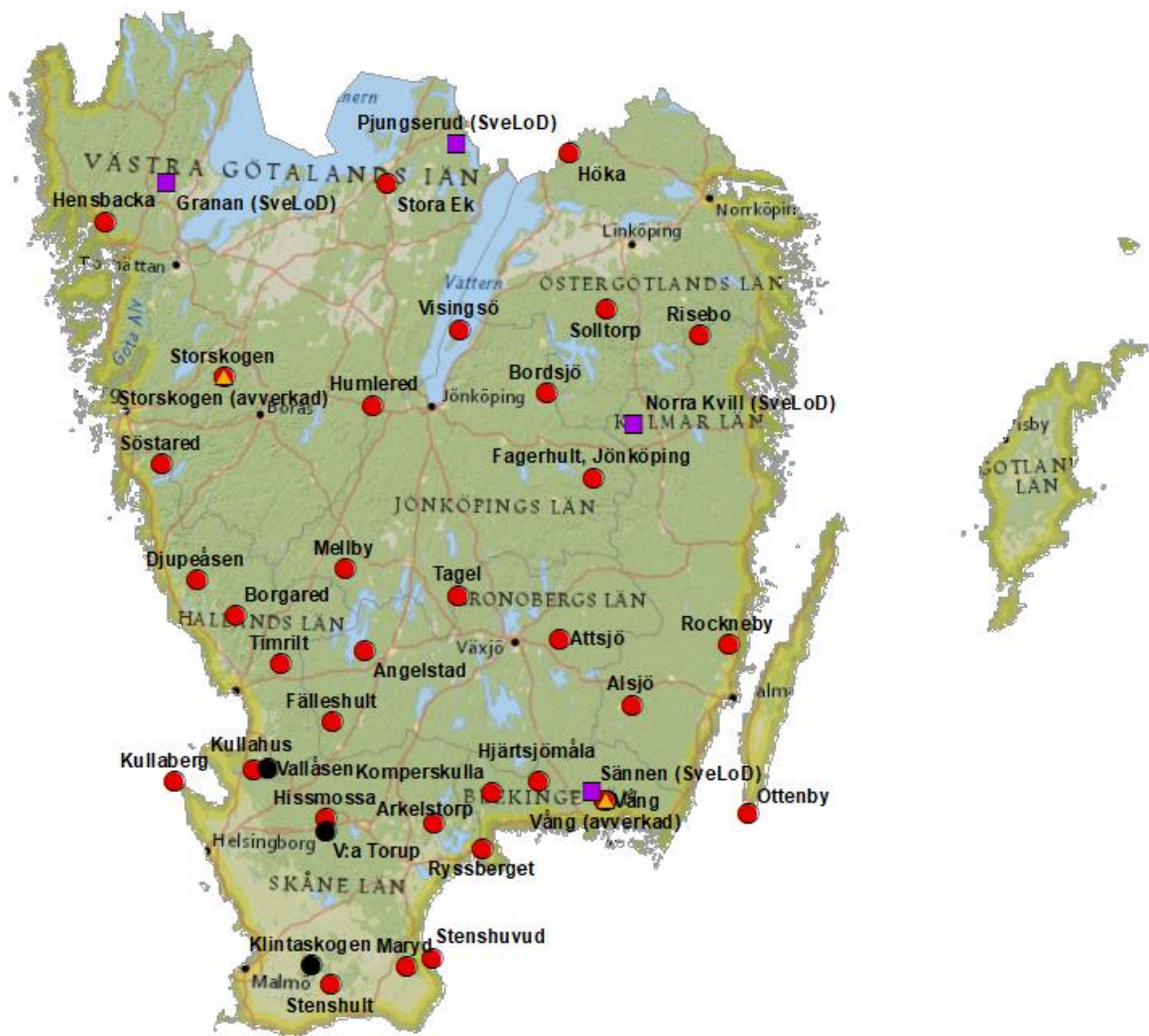
Foto: krondropsprovtagare



Foto: markvattenutrustning

Data från Krondroppsnetet är fritt tillgängliga från Krondroppsnetets webbplats: <http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>. På webbplatsen finns även samtliga kontaktuppgifter.

I Figur 3 visas vilka 32 mätplatser som fanns i södra Sverige under 2021/22. Inom Krondroppsnetet fanns i Skåne län fyra ytor: Arkelstorp, Hissmossa, Maryd och Stenshult; i Blekinge län fem ytor: Hjärtsjömåla, Komperskulla, Ryssberget, Vång A (där enbart markvattenhalter mäts efter avverkning av skogen) och Vång B; i Hallands län fem ytor: Borgared, Djupeåsen, Kullahus, Söstared och Timrilt; i Kalmar län fyra ytor: Alsjö, Ottenby, Risebo och Rockneby; i Kronobergs län fyra ytor: Angelstad, Attsjö, Fälleshult och Tagel; i Jönköpings län fyra ytor: Bordsjö, Fagerhult, Mellby och Visingsö (som bekostas av Vätternvårdsförbundet och där deposition på öppet fält mäts); i Västra Götalands län fyra ytor: Hensbacka, Humlered, Stora Ek och Storskogen och i Östergötland finns två ytor: Höka och Solltorp. På kartan i Figur 3 visas dessutom två ytor i Skåne där lufthalter mäts (Kullaberg och Stenshuvud) och fyra ytor med lufthalts- och öppet fältnätningar inom det nationella miljöövervakningsprogrammet SveLoD (Sännen i Blekinge län, Norra Kvill i Kalmar län och Pjungserved och Granan i Västra Götalands län), vars mätresultat också visas i denna rapport.



Figur 3. Samtliga mätplatser i södra Sverige 2021/22. Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

2 Kväve och övergödning

Utsläpp till luft av kväveoxider (NO_x), främst från transporter och industri, tillsammans med utsläpp av ammoniak (NH₃), främst från jordbruket, leder till kvävedeposition som kan bidra till både övergödning och försurning av mark och vatten. Övergödning av marken kan leda till en förändrad markvegetation. Det kväve som inte tas upp av skogsekosystemen, och som uppmäts som förhöjda halter av främst nitratkväve i markvattnet, kan transporteras vidare och bidra till förhöjda nitrathalter i grundvattnet och därmed försämrade dricksvattenkvalitet, samt övergödning av ytvatten.

Stenshult Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson

Nedfall av kväve till barrskog är en av de fem indikatorerna för miljömålet *Ingen övergödning*, eftersom ett högt kvävenedfall ökar risken för kväveutlakning till grund- och ytvatten och även kan påverka markvegetationens sammansättning.

Det finns fyra preciseringar inom miljömålet *Ingen övergödning*:

- **Påverkan på havet:** Den svenska och den sammanlagda tillförseln av kväveföreningar och fosforföreningar till Sveriges omgivande hav underskrider den maximala belastning som fastställs inom ramen för internationella överenskommelser.
- **Påverkan på landmiljön:** Atmosfäriskt nedfall och brukande av mark leder inte till att ekosystemen uppvisar några väsentliga långsiktiga skadliga effekter av övergödande ämnen i någon del av Sverige.
- **Tillstånd i sjöar, vattendrag, kustvatten och grundvatten:** Sjöar, vattendrag, kustvatten och grundvatten uppnår minst god status för näringsämnen enligt förordningen (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön.
- **Tillstånd i havet:** Havet har minst god miljöstatus med avseende på övergödning enligt havsmiljöförordningen (2010:134).

Miljö kvalitetsmålet "*Ingen övergödning*" bedöms inte kunna nås till 2030 i södra Sverige. I de flesta län går det inte heller att se någon tydlig riktning för utvecklingen i miljön. I Jönköpings län och Västra Götalands län bedöms utvecklingen dock som positiv. (Länsstyrelsen Blekinge, 2022; Länsstyrelsen Halland, 2022; Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2022; Länsstyrelsen Kalmar län & Skogsstyrelsen, 2022; Länsstyrelsen Kronoberg, 2022; Länsstyrelsen Skåne, 2022; Länsstyrelsen Västra Götaland & Skogsstyrelsen, 2022; Länsstyrelsen Östergötland, 2022).

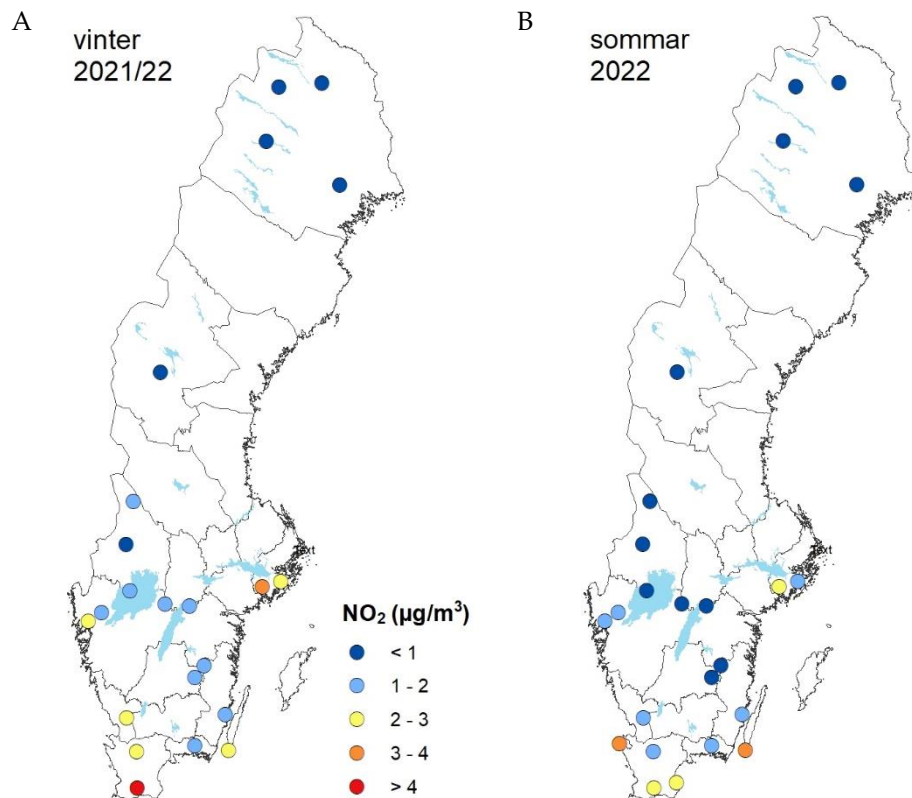
Skogarna i de län som ingår i denna rapport utsätts idag för ett atmosfäriskt kvävenedfall som oftast överskrider den kritiska belastningsgränsen som används i Sverige för barrskog på 5 kg kväve (N) per hektar och år, och har överskridit denna gräns under många decennier. Nedfallet minskar dock och har minskat under en lång tid. I de norra delarna av området ligger numera nedfallet under belastningsgränsen under vissa år. Om minskningen blir bestående så kommer skogarna här att kunna påbörja en långsam återhämtning. I större delen av området överskrids dock den kritiska belastningsgränsen för kväve till barrskog fortfarande, vilket innebär att övergödningen och risken för kväveläckage fortsätter att öka.

2.1 Minskar lufthalterna av kvävedioxid och ammoniak?

Mätningar av lufthalter i bakgrundsmiljön fyller en viktig funktion för att bekräfta att luftföroreningarna över Sverige minskar i takt med rapporterade minskade utsläpp av långväga transporterade luftföroreningar från såväl Sverige som övriga Europa.

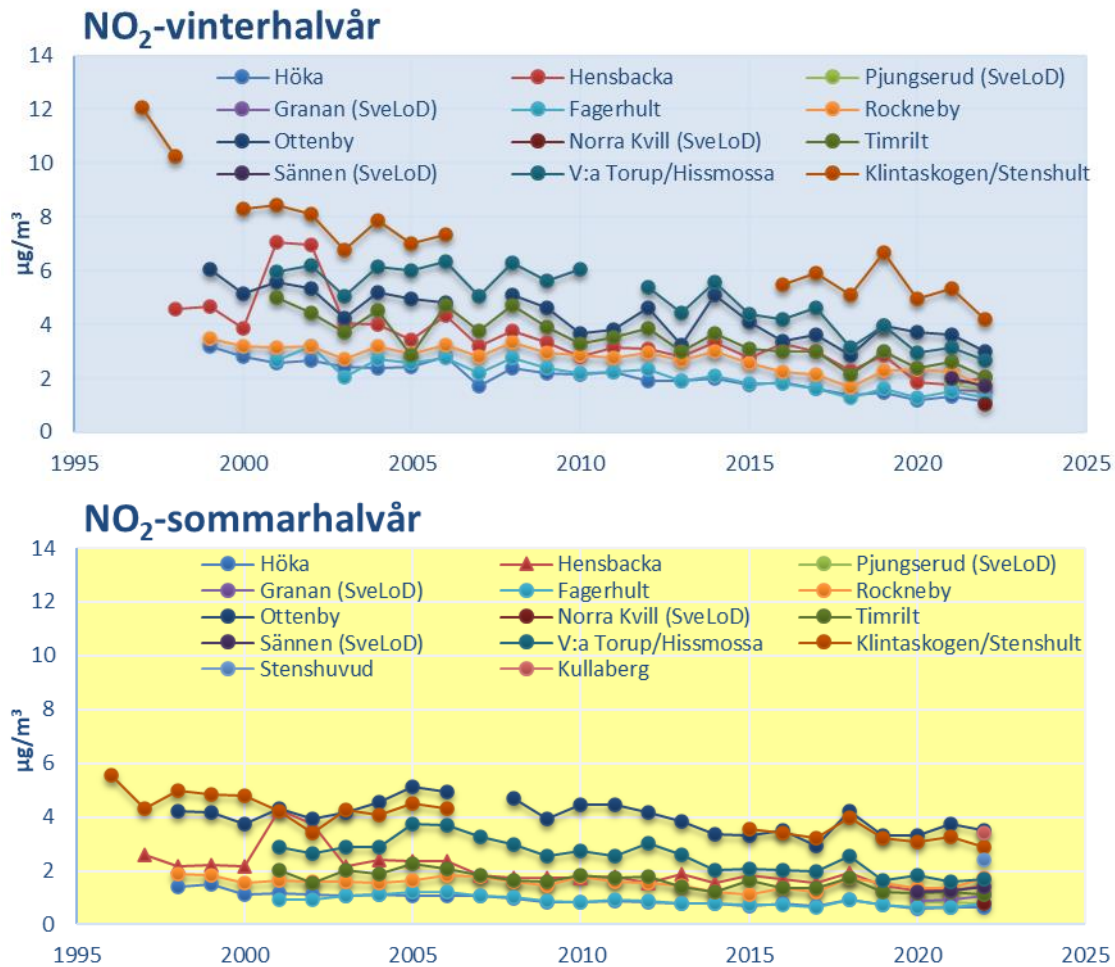
I södra Sverige finns värdefulla och långa tidsserier av lufthalter av kvävedioxid (NO₂) och ammoniak (NH₃) på månadsbasis. Flera mätningar startade mellan 1996 och 2001. Utöver lufthaltsmätningarna inom Krondroppsnätet visas även mätningar från fyra mätplatser som ingår i den nationella miljöövervakningen inom SveLoD och två mätplatser finansierade av Länsstyrelsen i Skåne län, Stenshuvud och Kullaberg.

I Figur 4 visas kvävedioxidhalterna under vintern 2021/22 och sommaren 2022, för mätplatser i hela Sverige. Högst halter av NO₂ uppmättes vintertid i södra Skåne, följt av Stockholmsregionen och kustnära mätplatser i södra Sverige. Lägst halter uppmättes i norra halvan av Sverige. Halterna av kväveoxider (NO_x) var lägre på sommaren än på vintern, men fördelningen över landet är likartad.



Figur 4. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) som medelvärden för vinterhalvåret 2021/22 (A) respektive sommarhalvåret 2022 (B) vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige samt vid några mätplatser inom det nationella mätnätet SveLoD. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

Lufthalterna av NO_2 minskar både vintertid och sommartid, Figur 5. Mellan 2001 och 2022 har lufthalterna av NO_2 vid Höka, Fagerhult, Hensbacka, Timrilt, Ottenby, Rockneby, Västra Torup/Hissmossa och Klintaskogen/Stenshult, minskat statistiskt signifikant med mellan 36 % och 56 % under vinterhalvåren och mellan 16 % och 48 % under sommarhalvåren. Samtidigt har utsläppen av NO_x från EU-27+UK under perioden 2001–2020 minskat med 53 % medan utsläppen från Sverige har minskat med 44 % (CEIP, 2023). Lufthalterna av NO_2 i södra Sverige har således till stor del minskat i samma utsträckning som emissionsminskningarna i Sverige.

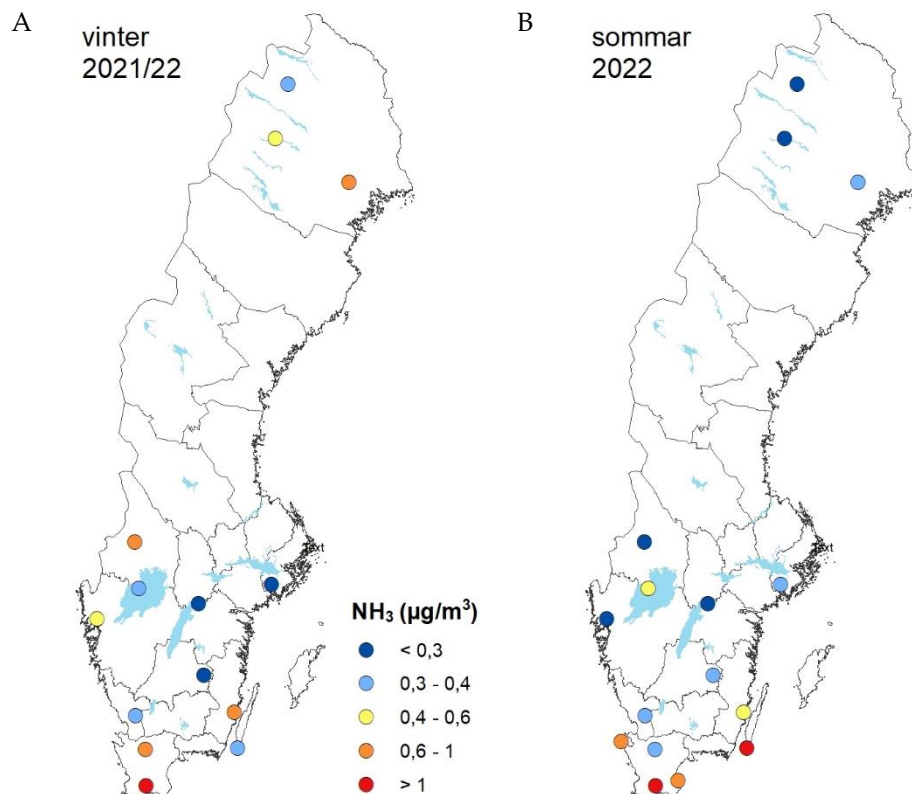


Figur 5. Lufthalter av kvävedioxid (NO₂) som medelvärde för vinter- (okt-mars) respektive sommarhalvår (apr-sept.) vid Höka (Östergötland), Hensbacka, Pjungserud, Granan (Västra Götaland), Fagerhult (Jönköpings län), Rockneby, Ottenby, Norra Kvill (Kalmar län), Timrilt (Halland), Sännen (Blekinge), Västra Torup/Hissmossa, Klintaskogen/Stenshult, Stenshuvud, Kullaberg (Skåne). NO₂-halterna mellan 2001–2022 har minskat statistiskt signifikant vid samtliga mätplatser med tillräckligt långa tidsserier, baserat både på sommar- och vinterhalvår. De förhöjda halterna av NO₂ vid Hensbacka 2001 och 2002 förklaras till stor del att mätplatsen under dessa år flyttades till en punkt närmare den starkt trafikerade E6. För Stenshuvud och Kullaberg finns ännu inte fullständiga data för vinterhalvår.

Gasformig ammoniak, NH₃, har en hög depositions hastighet och transporteras därför inte lika långt från utsläppskällan som kväveoxider gör. NH₃ kan dock relativt snabbt omvandlas till partikelformigt NH₄, som kan transporteras betydligt längre. Lufthalterna av NH₃, uttryckt som massa, är ofta lägre jämfört med NO₂ men uttryckt som N-ekvivalenter är dock skillnaderna mellan NO₂ (molvikt 46) och NH₃ (molvikt 17) mindre. Detta innebär att koncentrationerna av kväve är jämförbara mellan gasformigt NO₂ och NH₃. I Figur 6 visas ammoniakhalterna under vintern 2021/22 och sommaren 2022 vid alla platser med lufthaltsmätningar inom Krondroppsnetet. Inom SveLoD mäts inte ammoniak varför resultat från dessa mätplatser inte finns med.

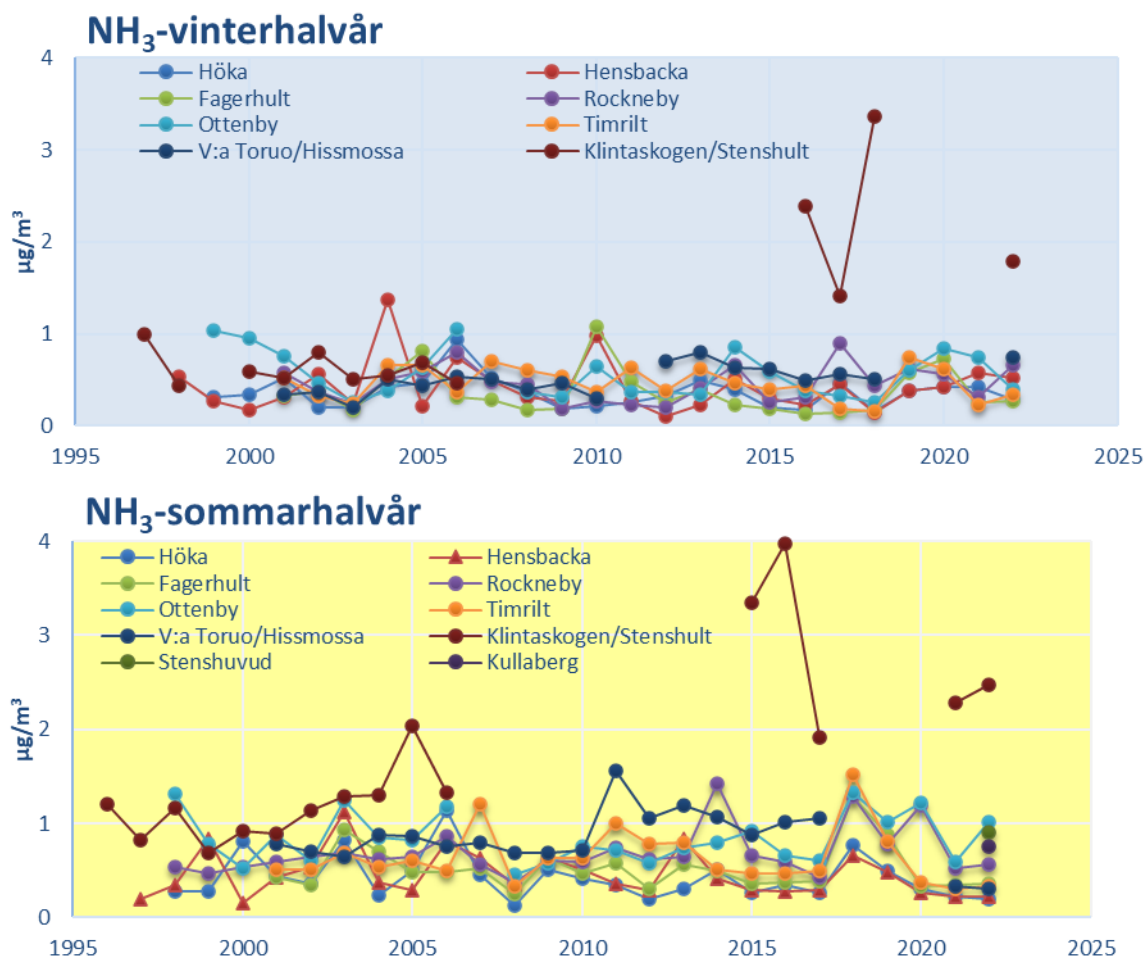
Högst halter av NH₃ uppmättes under sommaren 2022 i södra Skåne och södra Öland följt av kustnära mätplatser i Skåne och Kalmar län. Lägst halter uppmättes i norra halvan av Sverige under sommaren. För NH₃ i södra Sverige är det vanligt att halterna är något högre under sommarhalvåret än under vinterhalvåret. Under 2021/22 var lufthalterna av NH₃ vid mätplatserna i södra Sverige på en liknande nivå under vintern 2021/22 och sommaren 2022. Vid Ottenby på södra Öland var NH₃-halterna högre under sommarhalvåret jämfört med vinterhalvåret medan NH₃-halterna vid Hensbacka var lägre under sommaren. I norra Sverige är ammoniakhalterna generellt låga sommartid. Under vintern 2021/22 var ammoniakhalten högst i Skåne, Kalmar län, Värmland och i sydöstra Norrbotten. Vintertid har det tidigare förekommit förhöjda NH₃-halter i norra Sverige och det syns även för vintern 2021/22. Ännu finns ingen förklaring till de höga lufthalterna av

ammoniak under vintern i norra Sverige. Vid ofullständig förbränning kan det bildas NH_3 , så det finns ett möjligt samband med småskalig vedeldning vintertid.



Figur 6. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärden för vinterhalvåret 2021/22 (A) respektive sommarhalvåret 2022 (B), vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige, samt vid några mätplatser inom det nationella mätnätet SveLoD. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

I Figur 7 visas utvecklingen av lufthalterna av NH_3 över tid vid ytorna i södra Sverige. Lufthalterna av NH_3 för sommarhalvår har minskat statistiskt signifikant med 40 % vid Hensbacka mellan 2001 och 2022. Vid Västra Torup/Hissmossa samt Klintaskogen/Stenshult har NH_3 -halterna sommartid i stället ökat mellan 2001 och 2022. Ökningen kan bero på mätplatsernas placering, vad gäller pågående jordbruksverksamhet. Inga andra statistiskt signifikanta förändringar har erhållits för mätplatserna i södra Sverige sedan 2001. De rapporterade utsläppen av NH_3 från EU-27+UK mellan 2001–2020 har minskat med 11 % och från Sverige med 12 % under motsvarande period (CEIP, 2023).



Figur 7. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärde för sommar- (apr-sept.) respektive vinterhalvår (okt-mars) vid Höka (Östergötland), Hensbacka (Västra Götaland), Fagerhult (Jönköpings län), Rockneby, Ottenby (Kalmar län), Timrilt (Halland), Västra Torup/Hissmossa, Klintaskogen/Stenshult, Stenshuvud, Kullaberg (Skåne). NH_3 -halterna baserat på sommar- eller vinterhalvår har endast förändrats statistiskt signifikant under sommarhalvåren vid Hensbacka, Västra Torup/Hissmossa samt Klintaskogen/Stenshult mellan 2001–2022. För Stenshuvud och Kullaberg finns ännu inte fullständiga data för vinterhalvår.

2.2 Förändras kvävenedfallet i södra Sverige?

Kväve tillhör de ämnen där det inte går att beräkna totalt atmosfäriskt nedfall till skog baserat enbart på mätningar av krondropp, eftersom en del av det deponerade kvävet tas upp direkt i trädkronorna och därför inte når insamlarna för krondropp vid marken. Inte heller kan endast mätningarna på öppet fält användas då de till största delen representerar våtdepositionen. För att beräkna det totala nedfallet av oorganiskt kväve (summan av nitrat och ammonium) till skog, det vill säga summan av torr- och våtdeposition, krävs därför samlokaliserad mätutrustning för nedfall med nederbörden till öppet fält, krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare. Denna typ av samlokaliserade mätningar finns vid 11 mätplatser runt om i Sverige, bland andra Hissmossa i Skåne, Timrilt i Halland, Rockneby i Kalmar län och Hensbacka i Västra Götalands län. Från dessa mätningar går det att uppskatta andelen torrdeposition av kväve i relation till den totala depositionen (torr- + våtdeposition), med en metod utarbetad för granskog (Karlsson m.fl., 2019, 2022).

Andelen torrdeposition av kväve följer i stort ett geografiskt mönster över Sverige, från sydväst mot nordost, med högre andel i söder och lägre i norr. Utifrån detta mönster går det att beräkna andelen torrdeposition av

kväve för alla mätplatser där det mäts våtdeposition till öppet fält, vilket i södra Sverige sker på 12 platser (se Bilaga 1). Genom att summera beräknad torrdeposition och uppmätt våtdeposition får man en uppskattning av det totala nedfallet av oorganiskt kväve till granskog för alla platser med öppet fältmätningar.

2.2.1 Bulkdeposition av oorganiskt kväve, trender

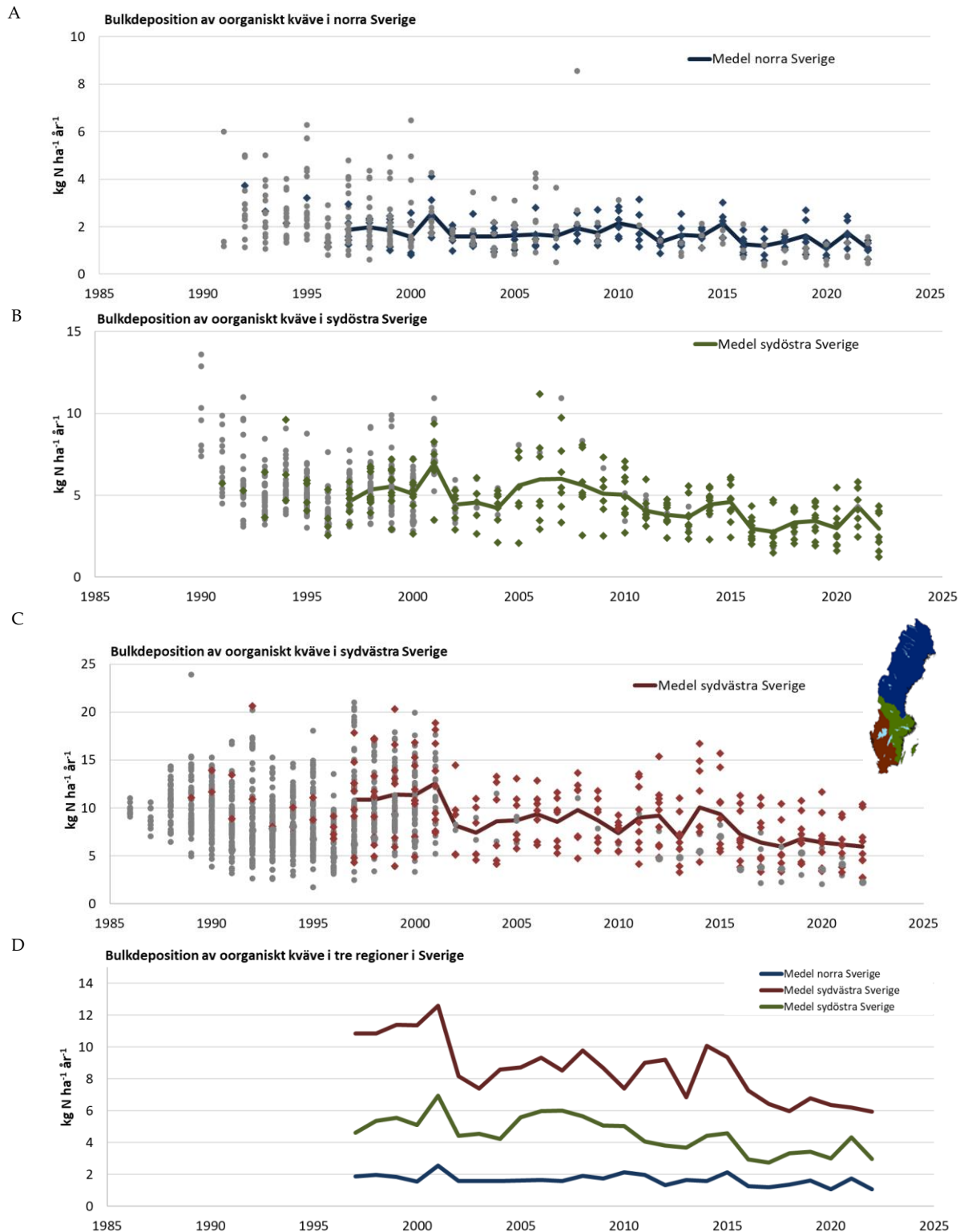
I Figur 8 visas bulkdepositionen av oorganiskt kväve för olika mätplatser i norra Sverige (A), sydöstra Sverige (B) och i sydvästra Sverige (C) sedan mätstarten av Krondroppsnetet. I Figur 10D visas även de årliga medelvärdena för de tre olika regionerna för perioden 1997/97 – 2021/22 baserat på mätresultat från 6 stationer i norra Sverige, 9 stationer i sydöstra Sverige och 9 stationer i sydvästra Sverige. Under perioden 2001/02 – 2009/10 var antalet mätplatser relativt få, speciellt i sydvästra Sverige, vilket påverkar spridningen i mätvärdena och kan påverka medelvärdet under denna period, Figur 10C.

I början av tidsserien var variationen av oorganiskt kväve i bulkdepositionen stor mellan mätplatserna i de olika regionerna. Under åren 1991/92 – 1994/95, när det fanns mätningar för samtliga regioner, varierade den årliga kvävedepositionen med nederbörden mellan 1 och 21 kg/ha och år i sydvästra Sverige, mellan 3 och 11 kg/ha och år i sydöstra Sverige och mellan 1 och 7 kg/ha och år i norra Sverige. Innan 1990 fanns ett relativt litet antal mätplatser med bulkdeposition i sydvästra Sverige vilket gör att man bör dra slutsatser av skillnaderna i deposition under denna period med försiktighet.

Medelvärdena för den årliga bulkdepositionen av oorganiskt kväve i de olika regionerna under 1996/97 var 10,8 kg N/ha i sydvästra Sverige, 4,6 kg N/ha för sydöstra Sverige and 1,9 kg N/ha i norra Sverige. Under 2021/22 hade bulkdepositionen av kväve minskat till 6,0 kg N/ha i sydvästra Sverige, 3,0 kg N/ha för sydöstra Sverige and 1,1 kg N/ha i norra Sverige. Bulkdepositionen av kväve 1996/97 var 5,7 gånger högre i sydvästra Sverige jämfört med norra Sverige. Under 2021/22 var skillnaden i bulkdeposition fortfarande 5,5 gånger högre i sydvästra Sverige jämfört med norra Sverige.

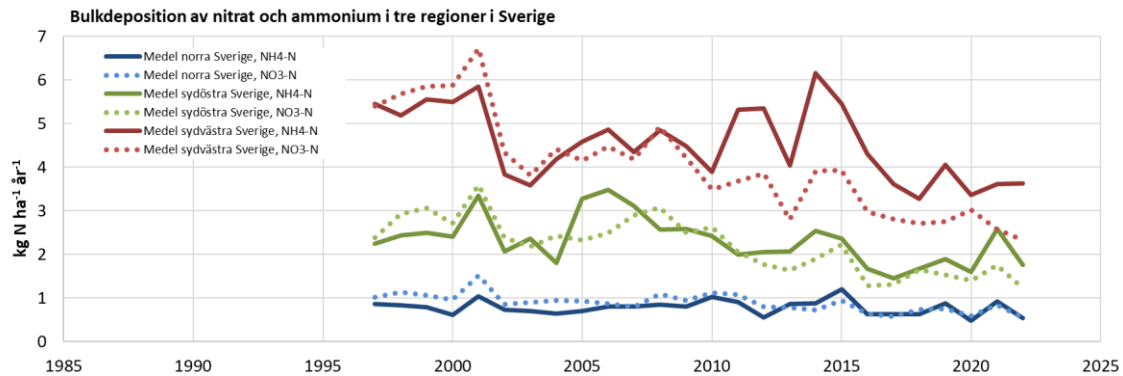
En statistisk analys med Mann-Kendallmetodik visade ingen statistiskt signifikant minskning för medelvärdet för oorganiskt kväve i norra Sverige för 25-årsperioden 1996/97 – 2021/22 trots att fyra av sex enskilda mätplatser uppvisade en statistiskt signifikant minskning. Medelvärdet i sydöstra Sverige för samma 25-årsperiod visade på en signifikant minskning på 44 %. I sydöstra Sverige uppvisade även sju av nio individuella mätplatser en statistiskt signifikant minskning. I sydvästra Sverige var minskningen i bulkdeposition av oorganiskt kväve på samma nivå som i sydöstra Sverige, 44 %. I sydvästra Sverige uppvisade samtliga nio mätplatser en statistiskt signifikant minskning.

Den årliga bulkdepositionen, för de olika regionerna, analyserades även separat för nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) och ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) för perioden 1996/07 – 2021/22, Figur 9. För norra och sydöstra Sverige följde den årliga bulkdepositionen av $\text{NO}_3\text{-N}$ och $\text{NH}_4\text{-N}$ varandra relativt nära genom åren. För sydvästra Sverige följde den årliga bulkdepositionen av $\text{NO}_3\text{-N}$ och $\text{NH}_4\text{-N}$ varandra relativt nära i början av perioden, men bulkdepositionen av $\text{NO}_3\text{-N}$ minskade betydligt mer än bulkdepositionen av $\text{NH}_4\text{-N}$ med tiden.

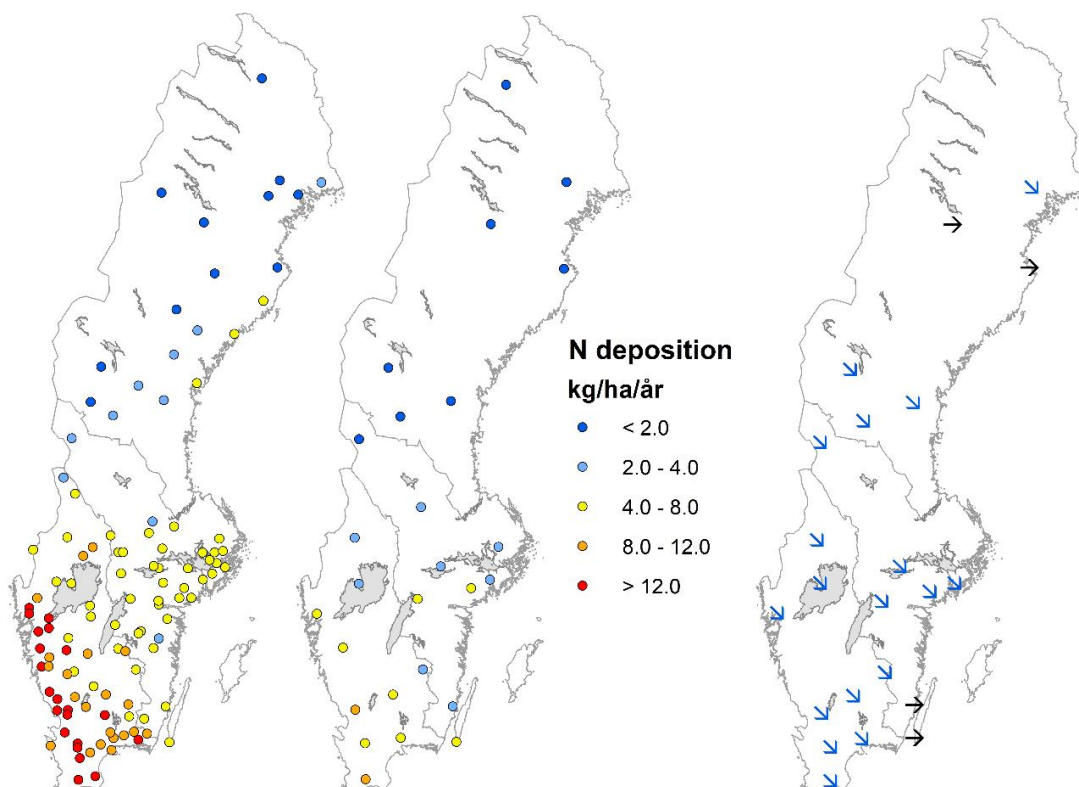


Figur 8. Bulkdeposition av oorganiskt kväve (NO₃-N + NH₄-N) för norra (A), sydöstra (B) och sydvästra Sverige (C). I (D) visas medelvärdet för de olika regionerna under perioden 1996/97 – 2021/22. Medelvärdet 1996/97 – 2021/22 baseras på mätresultat från 6 stationer i norra Sverige, 9 stationer i sydöstra Sverige och 9 stationer i sydvästra Sverige. Notera olika skalor på y-axlarna i diagrammen.

En statistisk analys med Mann-Kendall metodik för nedfall av $\text{NO}_3\text{-N}$ mätt som bulkdeposition visade en statistiskt signifikant minskning för 25-årsperioden 1996/97 – 2021/22 i samtliga tre regioner med 41 % i norra Sverige, 55 % i sydöstra Sverige och 56 % i sydvästra Sverige. Samtliga mätplatser i de tre regionerna visade på statistiskt signifikanta minskningar av $\text{NO}_3\text{-N}$ för 25-årsperioden. När det gäller $\text{NH}_4\text{-N}$ fanns ingen statistiskt signifikant minskning för norra Sverige som helhet för 25-årsperioden 1996/97 – 2021/22. Endast en av sex enskilda mätplatser i området uppvisade en statistiskt signifikant minskning. Medelvärden i sydöstra och sydvästra Sverige för samma 25-årsperiod visade på signifikanta minskningar av $\text{NH}_4\text{-N}$ på 30 % vardera. I sydöstra Sverige uppvisade fem av nio mätplatser statistiskt signifikanta minskningar och i sydvästra Sverige uppvisade endast fyra av nio mätplatser statistiskt signifikanta minskningar. För våtdepositionen av oorganiskt kväve som helhet (NO_3+NH_4) visade alla utom två (båda i Kalmar län) mätstationer i södra Sverige med långa mätserier statistiskt säkerställda minskningar, Figur 10.



Figur 9. Bulkdeposition av nitrat, $\text{NO}_3\text{-N}$, respektive ammonium, $\text{NH}_4\text{-N}$, för norra, sydöstra och sydvästra Sverige som medelvärde för perioden 1996/97 – 2021/22. Medelvärdena baseras på mätresultat från 6 stationer i norra Sverige, 9 stationer i sydöstra Sverige och 9 stationer i sydvästra Sverige



Figur 10. Medelvärden av våtdeposition av oorganiskt kväve, summan av nitrat och ammonium, för perioden 1996/97 – 1998/99 till vänster och perioden 2019/20 – 2021/22 i mitten. Den högra kartan visar riktningen på trenden för de ytor som har mätningar under hela tidsperioden 1996/97 – 2021/22: svarta pilar för ej signifikanta trender och blå nedåtgående pilar för signifikant minskande deposition.

Nederbördsmängderna påverkar storleken på nedfallet. Enskilda vädersystem som för luftmassor från förorenade områden in över delar av Sverige kan ibland också påverka det summerade nedfallet för ett helt år (Karlsson m.fl., 2013; Pleijel m.fl., 2016). Det finns därför en variation år från år i depositionen, utöver de långsiktiga trenderna. Vidare kan generella förändringar i atmosfärens kemiska sammansättning spela roll för hur långt och med vilken effektivitet som utsläpp av föroreningar från kontinentala och södra Europa transporteras till Sverige. Tabell 1 visar nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till de ytor i södra Sverige som är aktiva idag, som femårsmedelvärden, samt det senaste hydrologiska året 2021/22. Även i femårsmedelvärdena syns en del upp- och nedgångar som beror på väder och växlande nederbörd, men framför allt den generella minskningen på de allra flesta ytor.

Tabell 1. Nedfallet av oorganiskt kväve, summan av nitrat och ammonium, med nederbörden (bulkdeposition), kg N/ha/år, femårsmedelvärden, samt senaste hydrologiska året.

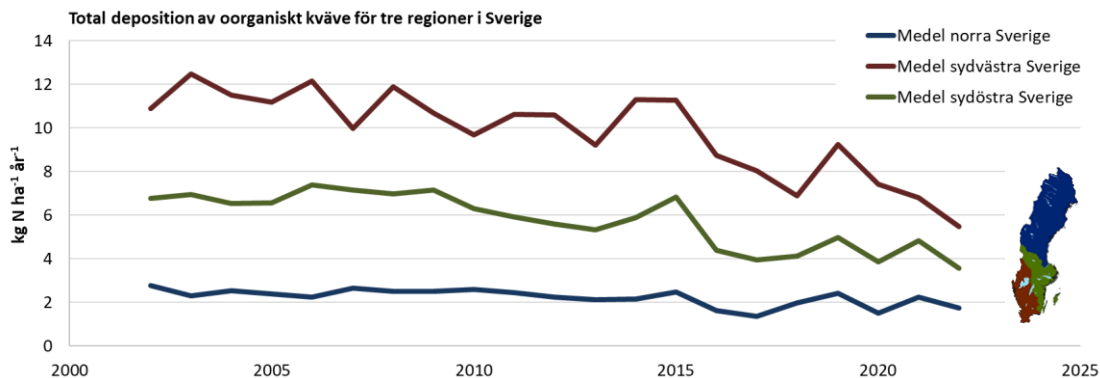
	Oorganiskt kväve med nederbörden (bulkdeposition), kg N/ha och period/år					
	1996/97– 2000/01	2001/02– 2005/06	2006/07– 2010/11	2011/12– 2015/16	2016/17– 2020/21	2021/22
Östergötland						
Höka	6,8			4,7	4,2	4,0
Västra Götaland						
Hensbacka	11,9	10,4	9,6	8,1	7,1	5,2
Storskogen					5,9	4,2
Jönköpings län						
Fagerhult	5,5	5,7	6,6	4,7	3,6	2,8
Visingsö	8,7	6,5	9,6	8,3	3,9	4,5
Kronobergs län						
Tagel	10,0		9,0	7,2	5,5	6,5
Kalmar län						
Rockneby	5,2	4,6	5,1	4,9	4,3	4,2
Ottenby	5,4*			4,8	4,9	4,3
Halland						
Timrilt	14,9	12,1	10,0	13,1	10,2	10,1
Blekinge						
Komperskulla	11,3			7,3	6,0	4,5
Skåne						
Västra Torup/Hissmossa	15,6	10,5	9,9	10,6	7,1	6,9
Klintaskogen/Stenshult	18,2			12,9	9,9	10,4
Extra SveLoD						
Norra Kvill, Kalmar län (SveLoD)					2,5	1,6
Granan, Västra Götaland (SveLoD)					5,6	4,1
Pjungserud, Västra Götaland (SveLoD)					4,4	4,0
Sännen, Blekinge (SveLoD)					5,7	5,4

* medelvärde av 4 år

2.2.2 Totaldeposition av oorganiskt kväve, trender

Skattningar av totaldepositionen av oorganiskt kväve, som inkluderar både torr- och våtdeposition, baseras på kombinerade mätningar med strängprovtagare och nedfallsmätningar i krondropp och på öppet fält. Mätningarna med strängprovtagare startade i Sverige under 2001, varför den årliga totaldepositionen av oorganiskt kväve finns tillgänglig för perioden 2001/02 – 2021/22. Den årliga totaldepositionen av oorganiskt kväve har beräknats som ett medelvärde för tre regioner i Sverige baserat på geografiskt interpolerade värden (Karlsson m.fl., 2022) för perioden 2001/02 – 2021/22, Figur 11.

En statistisk analys med Mann-Kendallmetodik för totaldepositionen av oorganiskt kväve visade en statistiskt signifikant minskning för perioden 2001/02 – 2021/22 i samtliga tre regioner med 43 % i sydvästra Sverige, 47 % i sydöstra Sverige och 30 % i norra Sverige. Torrdepositionen av oorganiskt kväve i sydöstra och sydvästra Sverige för samma 20-årsperiod minskade signifikant med 48 % respektive 46 %, medan den inte visade någon statistiskt signifikant minskning i norra Sverige. Däremot visade våtdepositionen av oorganiskt kväve under 20-årsperioden en statistiskt signifikant skillnad i samtliga tre områden med 33 % i sydvästra Sverige, 44 % i sydöstra Sverige och 38 % i norra Sverige. Minskningen av oorganiskt kväve i sydöstra Sverige var på en liknande nivå för både torr- och våtdepositionen medan minskningen av våtdepositionen i sydvästra Sverige var betydligt mindre än minskningen av torrdepositionen. Nederbörds mängderna i sydvästra Sverige är betydligt högre än i sydöstra Sverige (data visas ej), vilket påverkar våtdepositionen.



Figur 11. Totaldeposition av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) för norra, sydöstra och sydvästra Sverige under perioden 2001/02 – 2021/22. Medelvärdena 2001/02 – 2021/22 baseras på geografiskt interpolerade årliga värden.

I södra Sverige finns all den mätutrustning som krävs för att uppskatta det totala nedfallet av oorganiskt kväve till skog vid sex ytor. Resultaten för alla de sex ytorna, uppdelat på torr- och våtdeposition, redovisas i Tabell 2, som femårsmedelvärden för hydrologiska år, samt för det senaste hydrologiska året 2021/22. Det totala oorganiska kvävenedfallet till barrskog under 2021/22 beräknades till mellan 4,6 kg N/ha/år vid Fagerhult i Jönköpings län, och 13,0 kg N/ha/år vid Stenshult i Skåne. Under perioden 2011/12–2015/16 var det årliga totala kvävenedfallet vid Stenshult på Romeleåsen i Skåne så högt som 19,5 kg N/ha/år. Även i totaldepositionen av oorganiskt kväve syns tillfälliga upp- och nedgångar, liksom för våtdepositionen, men också en generell nedgång.

Tabell 2. Oorganiskt kväve med som totaldeposition, torrdeposition och våtdeposition, kg N/ha/år, femårsmedelvärden, samt senaste hydrologiska året, för de ytor som har mätningar av krondropp, på öppet fält och med strängprovtagare.

Oorg-N, Totaldeposition, kg N/ha/år		2001/02– 2005/06	2006/07– 2010/11	2011/12– 2015/16	2016/17– 2020/21	2021/22
Jönköpings län	Fagerhult	8,5	9,9	8,6	7,1	4,6
Skåne	Västra Torup/Hissmossa	15,4	12,5	15,0	10,0	7,1
Skåne	Stenshult			19,5	17,8	13,0
Halland	Timrilt	17,0	15,7	15,3	11,6	12,2
Västra Götaland	Hensbacka	13,5	12,6	10,5	7,8	5,3
Kalmar län	Rockneby	9,8	9,2	8,2	7,0	6,4
Oorg-N, Torrdeposition, kg N/ha/år						
Jönköpings län	Fagerhult	3,4	3,8	4,6	4,1	2,3
Skåne	Västra Torup/Hissmossa	6,6	4,2	6,2	4,2	1,4
Skåne	Stenshult			8,8	9,7	4,4
Halland	Timrilt	6,8	7,3	4,4	3,1	3,8
Västra Götaland	Hensbacka	4,8	4,5	3,8	2,1	1,1
Kalmar län	Rockneby	5,7	4,6	4,1	3,4	4,4
Oorg-N, Våtdeposition, kg N/ha/år						
Jönköpings län	Fagerhult	5,1	6,0	4,0	3,0	2,3
Skåne	Västra Torup/Hissmossa	8,8	8,3	8,7	5,8	5,7
Skåne	Stenshult			10,7	8,2	8,7
Halland	Timrilt	10,2	8,4	10,9	8,5	8,3
Västra Götaland	Hensbacka	8,7	8,0	6,7	5,8	4,2
Kalmar län	Rockneby	4,1	4,6	4,1	3,6	2,0

Nedfallet med nederbörden av oorganiskt kväve för det hydrologiska året 2021/22 visas för alla mätplatser med öppet fältmätningar i Figur 12A, medan det beräknade totala oorganiska kvävenedfallet till barrskog för samma ytor visas i Figur 12B. Den geografiska trenden från sydväst till nordost i kvävenedfall är starkast för våtdepositionen, som är låg i norra Sverige, men fortfarande hög vid ytorna i Skåne och Halland. Det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige under det hydrologiska året 2021/22 varierade mellan 1 och 2 kg per hektar i norr och var över 10 kg per hektar på två platser i sydväst, Figur 12B.

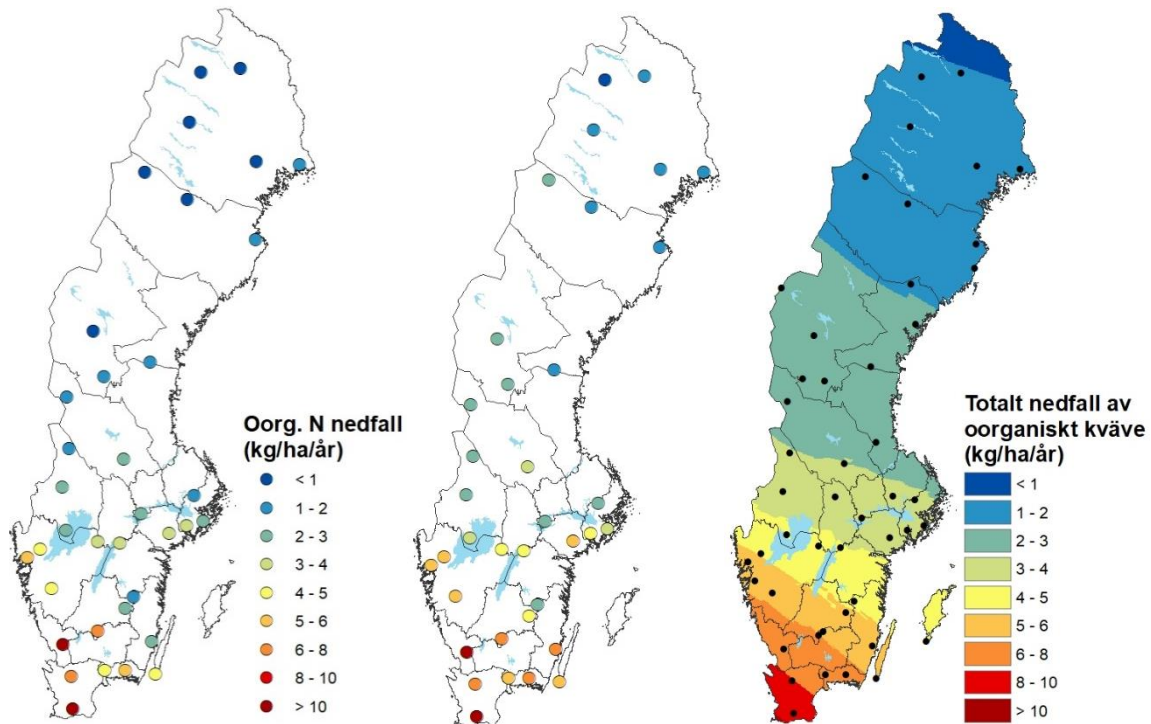
I Figur 12C visas en geografiskt interpolerad karta över det totala kvävenedfallet till barrskog över Sverige, för det hydrologiska året 2021/22, baserat på samtliga mätplatser med mätningar av nedfall till öppet fält som finns i Sverige. I figuren syns det generella mönstret med högre kvävedeposition ju längre åt sydväst man kommer, men att det också finns individuella variationer mellan ytorna, som kan bero på närhet till jordbruk och hur exponerat ytan ligger i terrängen. Den generella geografiska fördelningen av kvävenedfallet över landet, med högst nedfall i sydväst och avtagande norrut, har varit likartad under alla år sedan 2001.

Det totala oorganiska kvävenedfallet har även beräknats yttäckande för samtliga län i Sverige. Det årliga totala oorganiska kvävenedfallet i Skåne län under det hydrologiska året 2021/22 beräknas till 7 - 10 kg per hektar, i Hallands län till 6 - 8 kg per hektar, i Blekinge län till 6 - 7 kg per hektar, i Kronobergs län till 5 - 8 kg per hektar, i Jönköpings län till 5 - 7 kg per hektar, i Västra Götalands län till 4 - 7 kg per hektar, i Kalmar län till 4 - 5 kg per hektar och i Östergötlands län till 4 - 5 kg per hektar. Den kritiska belastningen för övergödande kväve till gran- och tallskog i Sverige, 5 kg N per hektar och år (Moldan m.fl., 2011) överskrids alltså i stor del av södra Sverige, men i de norra länen i södra Sverige ligger nedfallet av oorganiskt kväve precis vid eller under den kritiska belastningsgränsen under 2021/22.

A. Kvävenedfall med nederbörden

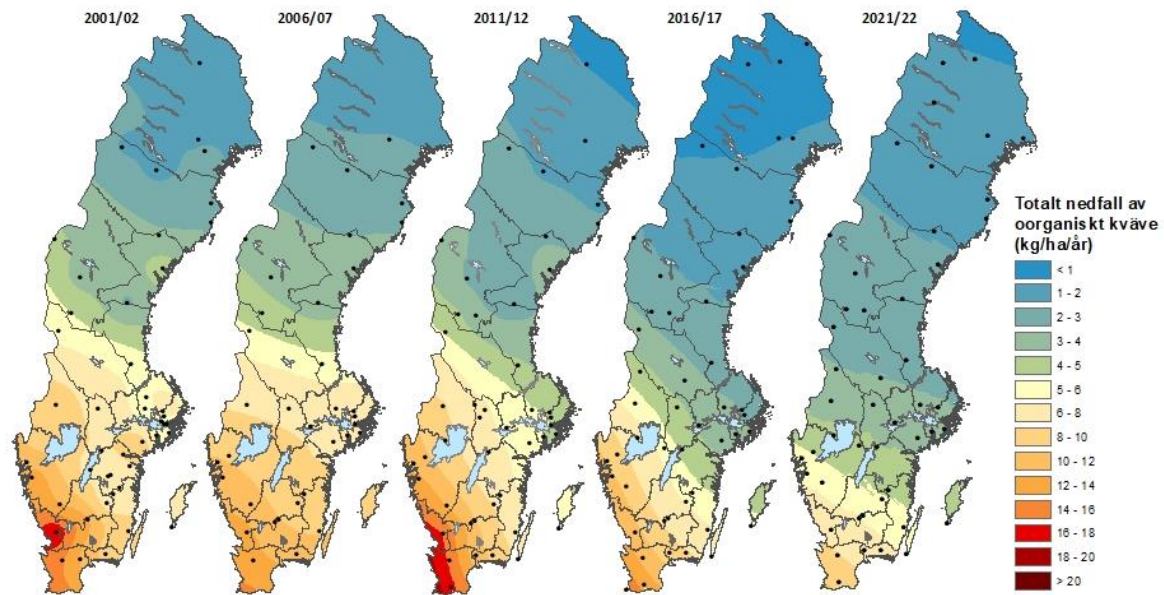
B. Totalt kvävenedfall

C. Totalt kvävenedfall (interpolerad karta)



Figur 12. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) över Sverige under det hydrologiska året 2021/22. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. Motsvarande karta som A men med beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). C. geografiskt interpolerad karta totalt nedfall av kväve (torr- och våtdeposition). Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2019; 2022).

Totaldepositionen av oorganiskt kväve finns beräknad för alla hydrologiska år sedan 2001/02 och nationella kartor finns framtagna för varje år sedan dess. I Figur 13 visas kartor över nedfallet av oorganiskt kväve för vart femte år sedan 2001/02. I figuren syns att mellanårsvariationen är stor. Det beräknade totala oorganiska kvävenedfallet har minskat statistiskt signifikant vid alla mätplatser i södra Sverige med tillräckligt lång mätserie, utom vid Fagerhult i Jönköpings län. Vid Rockneby och Ottenby i Kalmar län har det dock inte minskat så mycket, och det finns här inte heller någon statistisk signifikant trend för uppmätt oorganiskt kväve i våtdepositionen, men dock för nitratkväve i våtdepositionen.

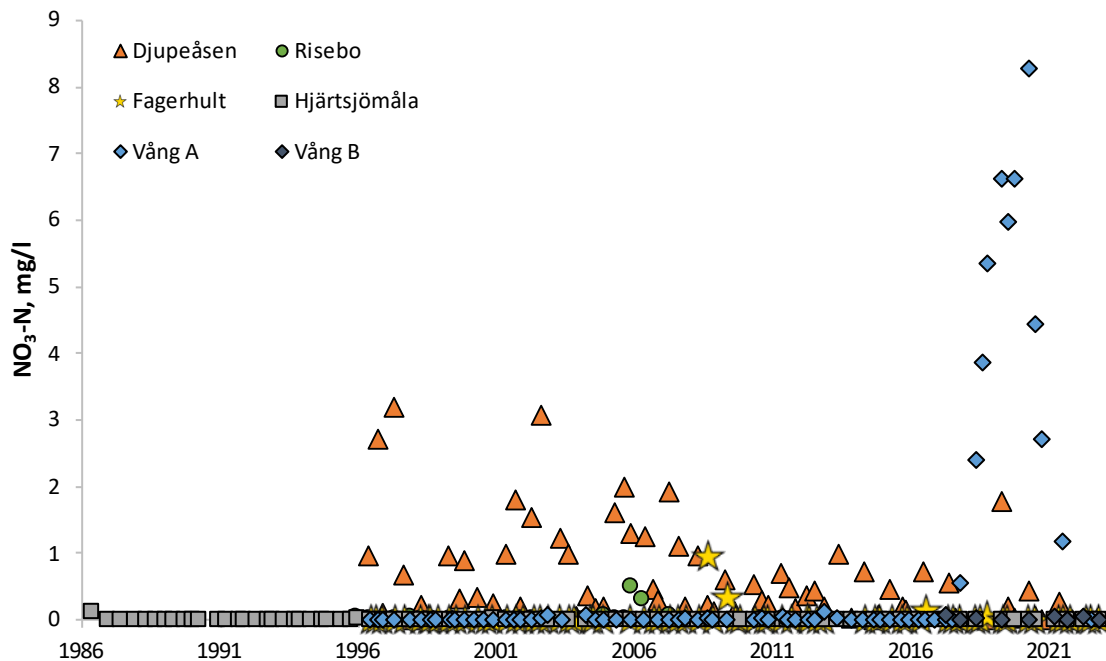


Figur 13. Geografiskt interpolerade kartor över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) av oorganiskt kväve (NO₃ + NH₄) över Sverige med fem års mellanrum under perioden 2001/02–2021/22. Den geografiska interpoleringen har gjorts med Kriging-metodik. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2022). Under perioden 2008–2013 bedrevs inga mätningar med strängprovtagare, så torrdepositionen har för denna period interpolerats över tid.

2.3 Läcker det kväve i skogarna i södra Sverige?

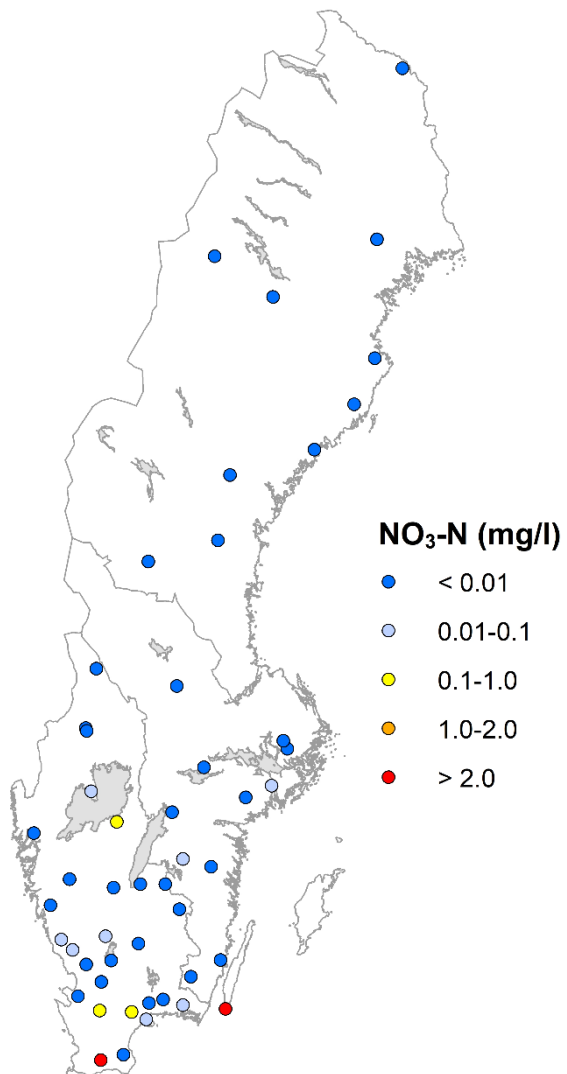
I Sveriges skogar tas vanligtvis nästan allt oorganiskt kväve upp av träd, övrig vegetation och markens mikroorganismer, med mycket låg utlakning från rotzonen som följd (Tamm, 1991). I sydvästligaste Sverige, framför allt i Skåne och Halland, har dock förhöjda halter av nitratkväve uppmätts i markvattnet på ett flertal mätplatser genom åren (Akselsson m.fl., 2010). Även i andra delar av landet finns exempel på förhöjda halter inom Krondroppsnätet, men då oftast efter störningar som avverkning, storm eller insektsangrepp (Hellsten m.fl., 2015; Karlsson m.fl., 2018).

Mätningar av nitratkvävehalter i markvatten ger en stark indikation på kvävestatusen i skogen. Förhöjda nitratkvävehalter i markvatten är det första tecknet på att det finns mer kväve än vad skogsekosystemet kan ta upp, vilket medför en risk för utlakning av kväve till ytvatten. Mätresultaten från 2022 visas, tillsammans med resultat från tidigare år, för ett urval av mätplatser i södra Sverige i Figur 14. Många ytor i södra Sverige har genomgående låga halter av nitrat i markvattnet, exempelvis tallskogen vid Hjärtsjömåla och granskogen vid Vång B (som dock ännu har ganska få mätningar gjorda) i Blekinge län i Figur 14. Några ytor, här representerade av tallskogen vid Risebo i Kalmar län och granskogen vid Fagerhult i Jönköpings län, har enstaka förhöjda värden, men oftast mycket låga halter av nitrat i markvattnet. Några få ytor, främst längst ner i sydvästra Sverige, har relativt ofta höga halter nitrat, så som bokskogen vid Djupeåsen i Hallands län. Efter avverkning, eller andra större störningar av skogen, kan halterna av nitrat i markvattnet bli mycket höga under några år vilket kan bidra till utlakning av kväve till grundvatten, sjöar och vattendrag. En sådan yta är den tidigare granskogen vid Vång A i Blekinge län. Stormfällningar och angrepp av granbarkborrar kan också bidra till toppar av nitratläckage, liksom skogsgödsling, där det förekommer.



Figur 14. Nitrathalter i markvattnet vid ett urval av länens provtytor. Djupeåsen i Hallands län är en yta med bokskog med höga kvävehalter i markvattnet. Tallskogen vid Risebo i Kalmar län och granskogen vid Fagerhult i Jönköpings län har enstaka något förhöjda kvävehalter. Tallskogen vid Hjärtsjömåla i Blekinge län har inga förhöjda uppmätta kvävehalter, granskogen vid Vång A i Blekinge län hade inga förhöjda kvävehalter i markvattnet förrän skogsbeståndet avverkades och fick då mycket förhöjda kvävehalter, och dess ersättningsyta Vång B som inte har några uppmätta förhöjda kvävehalter i markvattnet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

En sammanställning av data från samtliga nu aktiva krondroppsytor i Sverige med ostörd växande skog, Figur 15, visar att nitratkvävehalterna (angivet som median för åren 2019–2021) generellt har varit låga i hela Sverige under de senaste åren, med undantag av ett fåtal mätplatser i Skåne, Västra Götaland och på södra Öland, där medianen översteg 0,1 mg per liter, vilket innebär en tydlig förhöjning. I kartan är mätvärden från provtytor efter avverkning inte med. För nyligen avverkade ytor (Vång A och Storskogen A i södra Sverige, samt ett par ytor längre norrut) finns bara mätvärden från perioden innan avverkningen medtagna. På merparten av mätplatserna i Sverige var medianvärdet för denna period under detektionsgränsen. Förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet hos växande skog kan bero på mycket högt kvävenedfall under så lång tid att trädens förmåga att tillgodogöra sig kvävet överskrids, skador på delar av skogen på grund av storm eller insektsangrepp, samt skogsgödsling. Förhöjda kvävehalter efter skogsskador, avverkning och skogsgödsling består under några år och avtar sedan. Förhöjda halter på grund av långvarigt mycket högt nedfall kan komma och gå under mycket lång tid, vilket kan ses för ytan Djupeåsen i Figur 14 (som dock hade flera låga än höga mätvärden under de tre senaste åren och därför är blåmarkerad i kartan i Figur 15).



Figur 15. Koncentrationen av nitratkväve (NO₃-N) i markvattnet på 50 cm djup vid olika mätplatser inom Krondroppsnetet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar (2020–2022). Ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats är ej inkluderade.

3 Försurning – fortfarande ett problem?

Försurning av mark och vatten orsakas av både svavel- och kvävednedfall, men även skogsbruket bidrar eftersom träd tillväxt innebär försurning, som permanentas när biomassa skördas och förs bort från skogen. Utsläpp av svaveloxider (SO_x) från industrin och från förbränning av kol och olja är den största orsaken till försurning av mark och vatten i Sverige. Vid låga pH-värden uppträder aluminium som en giftig trevärd jon, som kan skada fiskar och andra vattenlevande organismer samt även skada trädens rötter. En ytterligare effekt av lågt pH är att vissa andra metaller, till exempel kadmium och bly, blir mer lösliga i marken och kan läcka ut till ytvattnet.

Risebo Fotograf: Matilda Broo

Nedfall av svavel till barrskog är en av de fyra indikatorerna för miljömålet *Bara naturlig försurning*, och är den största orsaken till den försurning av mark och vatten som människan orsakat sedan den storskaliga förbränningen av kol och olja tog fart. Andra bidragande faktorer är nedfall av kväve, som försurar om det inte tas upp av vegetation, och skogsbruk, då skörd av biomassa innebär bortförsl av buffringskapacitet.

Det finns även fyra preciseringar inom miljömålet *Bara naturlig försurning*:

- **Påverkan genom atmosfäriskt nedfall:** Nedfallet av luftburna svavel- och kväveföreningar från svenska och internationella källor medför inte att den kritiska belastningen för försurning av mark och vatten överskrids i någon del av Sverige.
- **Påverkan genom skogsbruk:** Markanvändningens bidrag till försurning av mark och vatten motverkas genom att skogsbruket anpassas till växtplatsens försurningskänslighet.
- **Försurade sjöar och vattendrag:** Sjöar och vattendrag uppnår oberoende av kalkning minst god status med avseende på försurning enligt förordningen (2004:660) om förvaltningen av kvaliteten på vattenmiljön.
- **Försurad mark:** Försurningen av marken påskyndar inte korrosion av tekniska material och arkeologiska föremål i mark och inte skadar den biologiska mångfalden i land- och vattenekosystem.

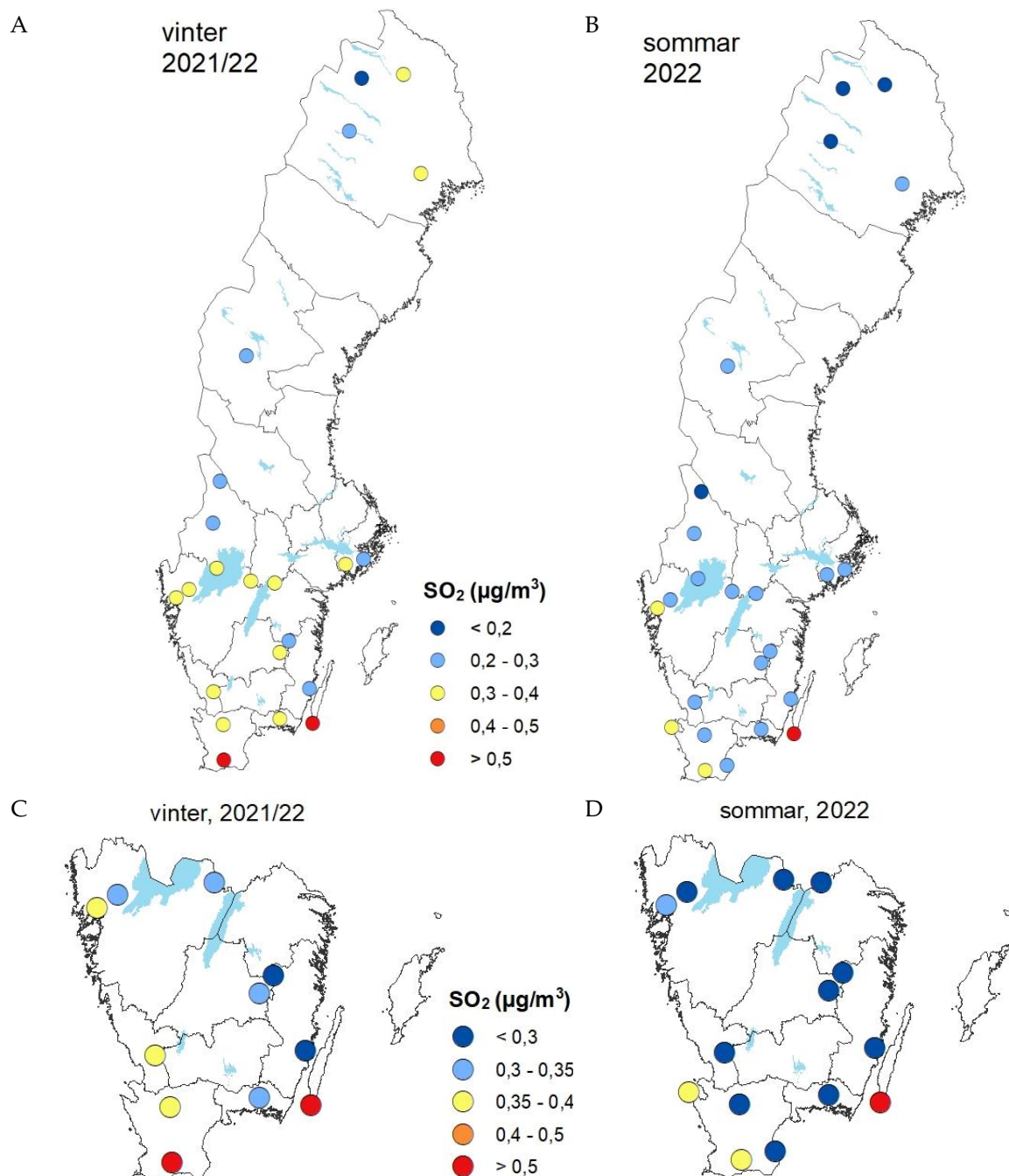
Miljö kvalitetsmålet "*Bara naturlig försurning*" bedöms inte kunna uppnås till 2030 i några av länen i södra Sverige, men är nära att nås i Östergötlands län. Utvecklingen i miljön i Jönköpings, Kalmar och Skåne län bedöms vara positiv, medan den bedöms som neutral i Blekinge, Hallands, Kronobergs, Västra Götalands och Östergötlands län. Nedfall och skogsbruk är orsaken till försurningsproblemen, och kalkning av ytvatten är en viktig metod som används för att motverka försurningen, medan askåterföring till skogsmark anges behöva ökas i Hallands, Jönköpings, Skåne, Västra Götalands och Östergötlands län (Länsstyrelsen Blekinge, 2022; Länsstyrelsen Halland, 2022; Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2022; Länsstyrelsen Kalmar län & Skogsstyrelsen, 2022; Länsstyrelsen Kronoberg, 2022; Länsstyrelsen Skåne, 2022; Länsstyrelsen Västra Götaland & Skogsstyrelsen, 2022; Länsstyrelsen Östergötland, 2022).

3.1 Minskar lufthalterna av svaveldioxid i södra Sverige?

Liksom för kvävedioxid fyller mätningar av lufthalter av svaveldioxid (SO₂) utanför tätort en viktig funktion att bekräfta uppgifter om minskade utsläpp av långväga transporterade luftföroreningar från såväl Sverige som övriga Europa.

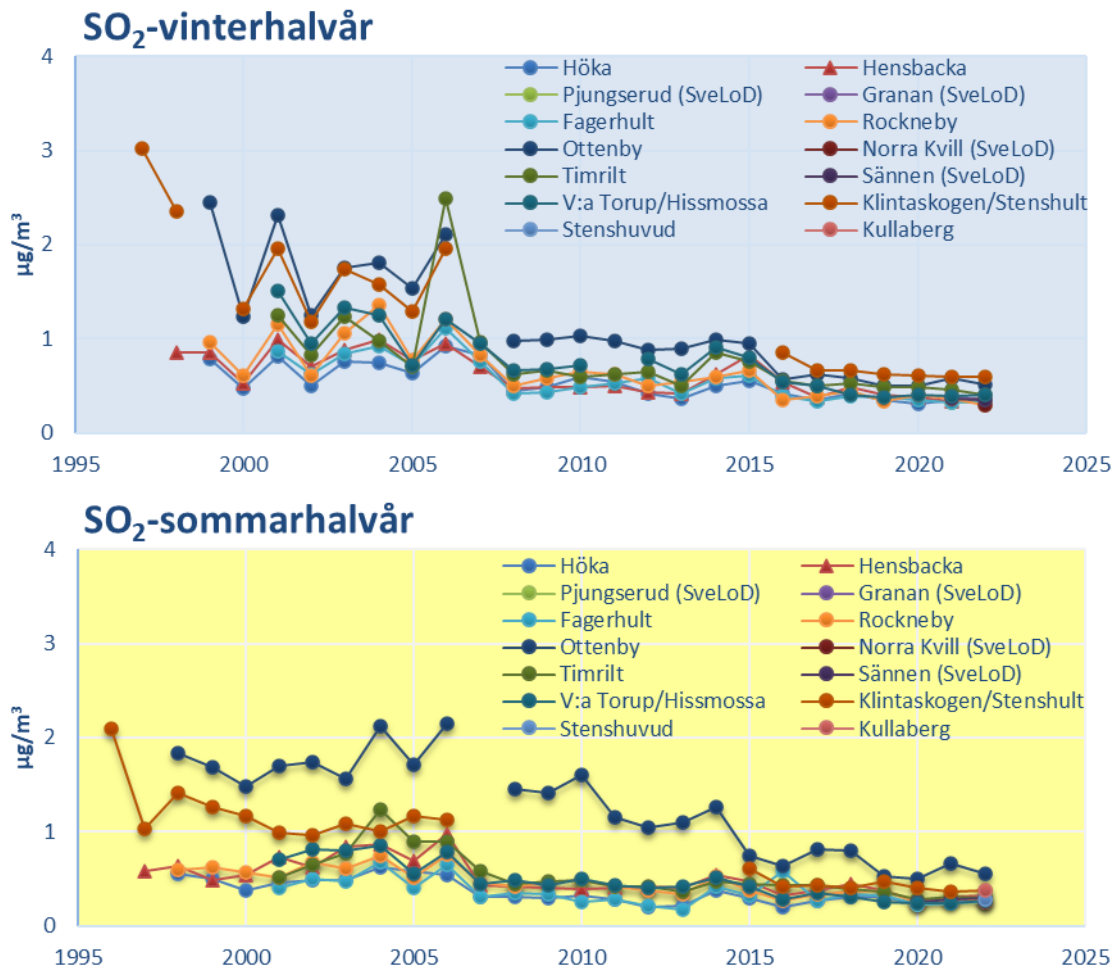
Liksom för lufthaltsmätningarna av NO₂ och NH₃ finns i södra Sverige värdefulla och långa tidsserier av lufthalter av svaveldioxid (SO₂) på månadsbasis. Flera mätningar startade mellan 1996 och 2001. Utöver lufthaltsmätningarna inom Krondroppsnätet visas i detta kapitel även mätningar från fyra mätplatser som ingår i den nationella miljöövervakningen inom SveLoD, samt två mätningar (Stenshuvud och Kullaberg) finansierade av Länsstyrelsen i Skåne län.

I Figur 16 visas lufthalterna av SO₂ under vinterhalvåret 2021/22 och sommarhalvåret 2022 vid nu aktiva mätplatser. Under vintern 2021/22 uppmättes högst SO₂-halter vid Stenshult på Romeleåsen i södra Skåne samt Ottenby vid Ölands södra udde, Figur 16A och C. Under vintern uppmättes även relativt höga halter på flera andra mätplatser i södra Sverige, samt vid två mätplatser i Norrbotten, Figur 16A. Under sommaren 2022 var halterna generellt lägre, med den högsta halten vid Ottenby. I januari 2015 sänktes tillåten halt av svavel i fartygsbränsle på Östersjön från 1 % till 0,1 %. Lufthaltsmätningarna av svavel inom Krondroppsnätet tyder dock på att fartygstrafiken har en fortsatt påverkan på lufthalterna vid kustnära områden i södra och mellersta Sverige. Under vintern 2021/22 uppmättes högst halter av SO₂ vid södra Sveriges sydvästra mätplatser, om man undantar Ottenby på södra Öland, Figur 16C.



Figur 18. Lufthalter av svaveldioxid (SO₂) som medelvärden för sommarhalvåret 2022 respektive vinterhalvåret 2021/22, vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige samt vid några mätplatser inom det nationella mätnätet SveLoD (A, B). Figurerna C och D visar motsvarande kartor för lufthalter av svaveldioxid (SO₂) vid mätstationerna i södra Sverige. Observera att skalorna är olika i figurerna A, B jämfört med C, D. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

Mellan 2001 och 2022 har lufthalterna av SO₂ vid Höka, Fagerhult, Hensbacka, Timrilt, Ottenby, Rockneby, Västra Torup/Hissmossa och Klintaskogen/Stenshult, minskat statistiskt signifikant med mellan 50 % och 74 % under vinterhalvåren och mellan 45 % och 76 % under sommarhalvåren, Figur 17. Som en jämförelse har de rapporterade utsläppen av oxiderat svavel från EU-27+UK under perioden 2001–2020 minskat med 92 % och från Sverige under motsvarande period med 71 % (CEIP, 2023).



Figur 17. Lufthalter av svaveldioxid (SO₂) som medelvärde för vinter- (okt-mars) respektive sommarhalvår (apr-sept) vid Höka (Östergötland), Hensbacka, Pjungserud, Granan (Västra Götaland), Fagerhult (Jönköpings län), Rockneby, Ottenby, Norra Kvill (Kalmar län), Timrilt (Halland), Sännen (Blekinge), Västra Torup/Hissmossa, Klintaskogen/Stenshult, Stenshovud, Kullaberg (Skåne). SO₂-halterna har minskat statistiskt signifikant 2001–2022 vid samtliga mätplatser med tillräckligt långa tidsserier, baserat både på sommar- och vinterhalvår.

3.2 Fortsätter den minskande nedfallstrenden för svavel?

Svavelnedfallet via krondropp ger ett samlat mått på det totala svavelnedfallet till skog. I södra Sverige fanns 30 aktiva platser med mätningar av nedfall av sulfat som krondropp under det hydrologiska året 2021/22: Komperskulla, Hjärtsjömåla, Vång och Ryssberget i Blekinge län, Timrilt, Söstared, Djupeåsen, Borgared och Kullahus i Hallands län, Fagerhult, Bordsjö och Mellby i Jönköpings län, Rockneby, Alsjö, Ottenby och Risebo i Kalmar län, Tagel, Attsjö, Fälleshult och Angelstad i Kronobergs län, Hissmossa, Stenshult, Maryd och Arkelstorp i Skåne län, Hensbacka, Storskogen, Humlered och Stora Ek i Västra Götalands län, samt Höka och Solltorp i Östergötlands län. 11 av dessa mätplatser har flyttats en kort bit i samband med avverkning någon gång under perioden 2005–2022. Här redovisas även data för tre lokaler som ersattes av nya inom ett par km från ursprungsytan i samband med avverkning: Vallåsen som ersattes av Kullahus, Västra Torup som ersattes av Hissmossa, samt Klintaskogen som ersattes av Stenshult. Tidsserieanalys av krondropp och nedfall på öppet fält görs för sammansatta tidsserier av gamla och nya mätplatser.

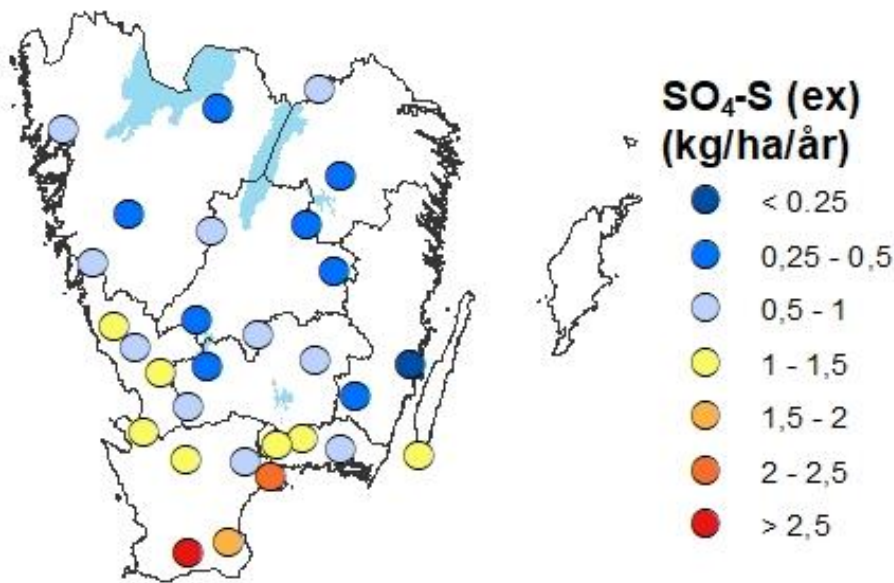
Svavelnedfallet i Sverige har generellt varit som högst vid exponerade lägen längst i sydväst, vilket också var fallet under 2021/22, Figur 18. Vid skyddade platser och längre norrut är svavelnedfallet numera lågt i Sverige. Under 2021/22 var svavelhalterna ännu lägre än de varit de senaste åren vid nästan alla mätplatser i

södra Sverige, Figur 19 och Tabell 3. Högst svavelnedfall uppmättes vid Stenshult på Romeleåsen i Skåne på 2,5 kg per hektar följt av Ryssberget strax norr om Sölvesborg i Blekinge län med 2,0 kg per hektar, Figur 18 och Tabell 3. Allra lägst svavelnedfall i södra Sverige uppmättes vid Rockneby strax utanför Kalmar med cirka 0,2 kg per hektar, vilket är ungefär lika lågt som skyddade lägen i norra Sverige.

Tabell 3. Totalt svavelnedfall utom svavel från havssalt, mätt som krondropp, kg S/ha/år, femårsmedelvärden, samt senaste hydrologiska året, för alla ytor i södra Sverige som har mätningar av krondropp.

	Totalt svavelnedfall via krondropp (utan havssalt), kg S/ha/år					
	1996/97– 2000/01	2001/02– 2005/06	2006/07– 2010/11	2011/12– 2015/16	2016/17– 2020/21	2021/22
Östergötland						
Höka	3,0	2,2	1,6	1,1	0,7	0,6
Solltorp	3,9	2,5	1,5	0,9	0,4	0,3
Västra Götaland						
Hensbacka	7,0	5,4	3,1	2,4	1,0	0,6
Humlered	3,6	2,4	1,9	1,5	0,9	0,7
Stora Ek	3,0	1,8	1,0	0,9	0,3	0,3
Storskogen				2,1*	0,8	0,5
Jönköpings län						
Fagerhult	4,5	2,6	1,7	1,4	0,8	0,3
Bordsjö	3,7	2,3	1,6	1,2	0,4	0,3
Mellby	5,1*	3,4	2,0	1,5	0,3	0,5
Kronobergs län						
Angelstad	5,6	3,1	2,1	1,5	0,6	0,5
Tagel	6,1	3,4	1,8	1,4	0,6	0,5
Attsjö	4,5	2,7	1,9	1,5	1,0	0,7
Fälleshult	6,9*	4,5			0,8*	0,6
Kalmar län						
Rockneby	4,4	2,8	1,9	1,5	0,7	0,2
Ottenby	6,1	4,5	3,6	2,1	1,3	1,2
Alsjö	4,9	3,4	2,3	1,5	0,9	0,4
Risebo	2,7	1,7	1,3	1,0		0,3
Halland						
Timrilt	7,2	5,2	4,9	3,1	1,5	1,3
Borgared	7,3	5,8	4,0	2,9	1,2	0,9
Djupeåsen	6,1	4,1	3,3	2,5	1,5	1,4
Söstared	5,3	4,2	3,1	2,3	1,0	0,7
Vallåsen/Kullahus	9,5	7,1	4,8	3,7	1,9	1,4
Blekinge						
Komperskulla	4,8	3,0	2,4	1,9	1,9	1,1
Ryssberget	6,6	4,5	3,4	3,2	2,8	2,0
Vång	7,7	5,0	3,2	2,6	1,4	0,7
Hjärtsjömåla	4,8	3,0	2,5	1,9	1,5	1,0
Skåne						
Västra Torup/Hissmossa	9,3	5,6	3,2	2,7	1,6	1,2
Klintaskogen/Stenshult	11,4	8,5	6,8*	6,4	4,1	2,5
Arkelstorp	8,5	4,1	2,8	2,5	1,7	0,8
Maryd		7,8	5,4	4,4	2,7	1,6

* medelvärde av 3 år



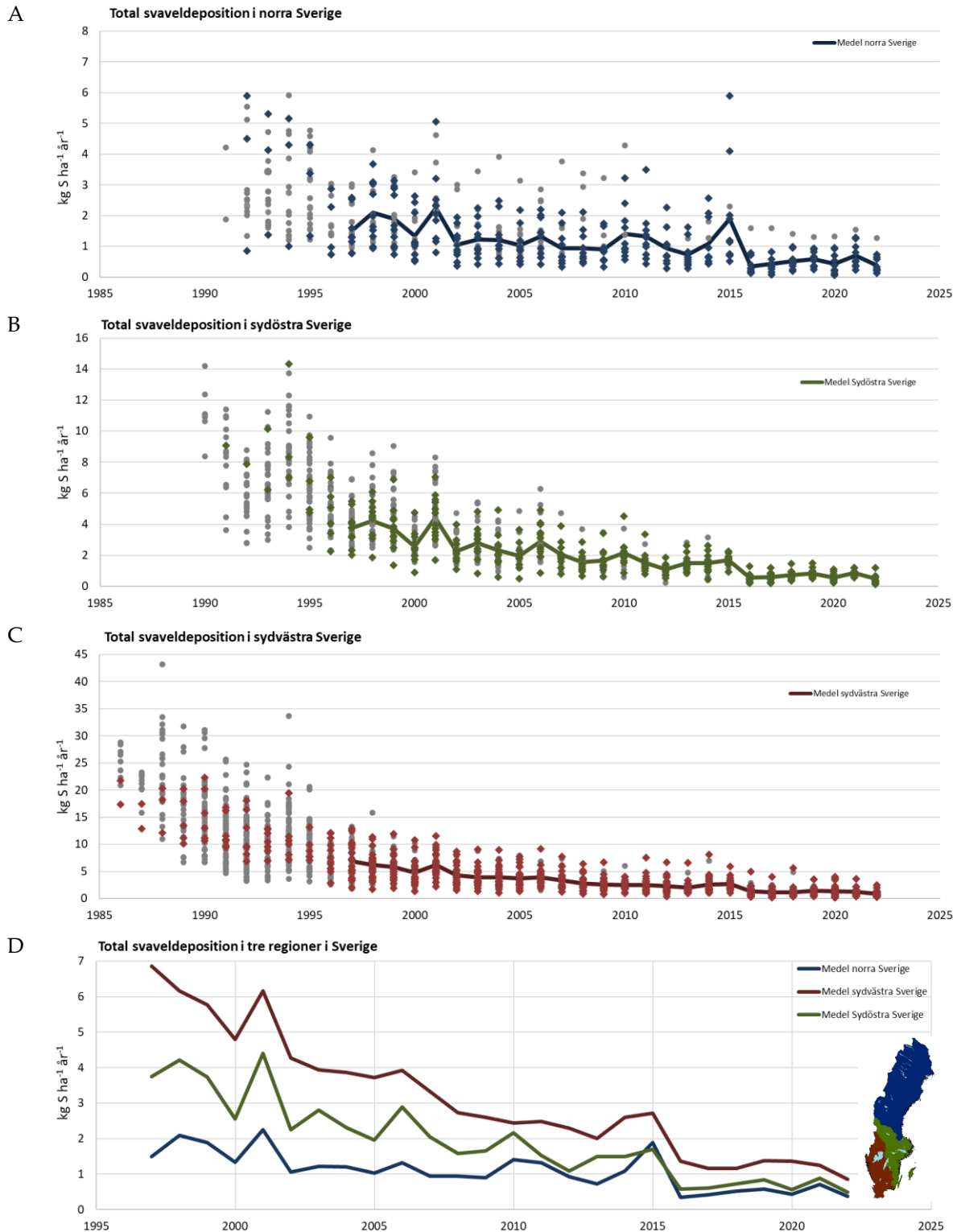
Figur 18. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) under 2021/22 i krondroppet, vilket motsvarar totaldepositionen av svavel utom från havssalt, vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i södra Sverige.

I Figur 19 visas totaldepositionen av svavel (utan havssalt) via krondropp för olika mätplatser med långa tidsserier i norra Sverige (A), sydöstra Sverige (B) och i sydvästra Sverige (C) sedan mätstarten av Krondroppsnetet. I Figur 19D visas även medelvärdena för de tre olika regionerna för perioden 1996/97 – 2021/22 baserat på mätresultat från 10 stationer i norra Sverige, 12 stationer i sydöstra Sverige och 24 stationer i sydvästra Sverige. Observera att det är olika skalor i diagrammen.

I början av tidsserien var variationen i svaveldepositionen stor mellan de olika platserna i de olika regionerna. Under åren 1991/92 – 1994/95, när mätningarna hade börjat i samtliga regioner, varierade den årliga svaveldepositionen mellan 4 och 34 kg/ha och år i sydvästra Sverige, mellan 2 och 15 kg/ha och år i sydöstra Sverige och mellan 1 och 6 kg/ha och år i norra Sverige. För sydvästra Sverige var svaveldepositionen ännu högre tidigare.

Medelvärdena för det årliga svavelnedfallet i de olika regionerna under 1996/97 var 6,9 kg S/ha i sydvästra Sverige, 3,8 kg S/ha för sydöstra Sverige and 1,5 kg S/ha i norra Sverige. Under 2021/22 hade svavelnedfallet minskat till 0,9 kg S/ha i sydvästra Sverige, 0,5 kg S/ha för sydöstra Sverige and 0,4 kg S/ha i norra Sverige.

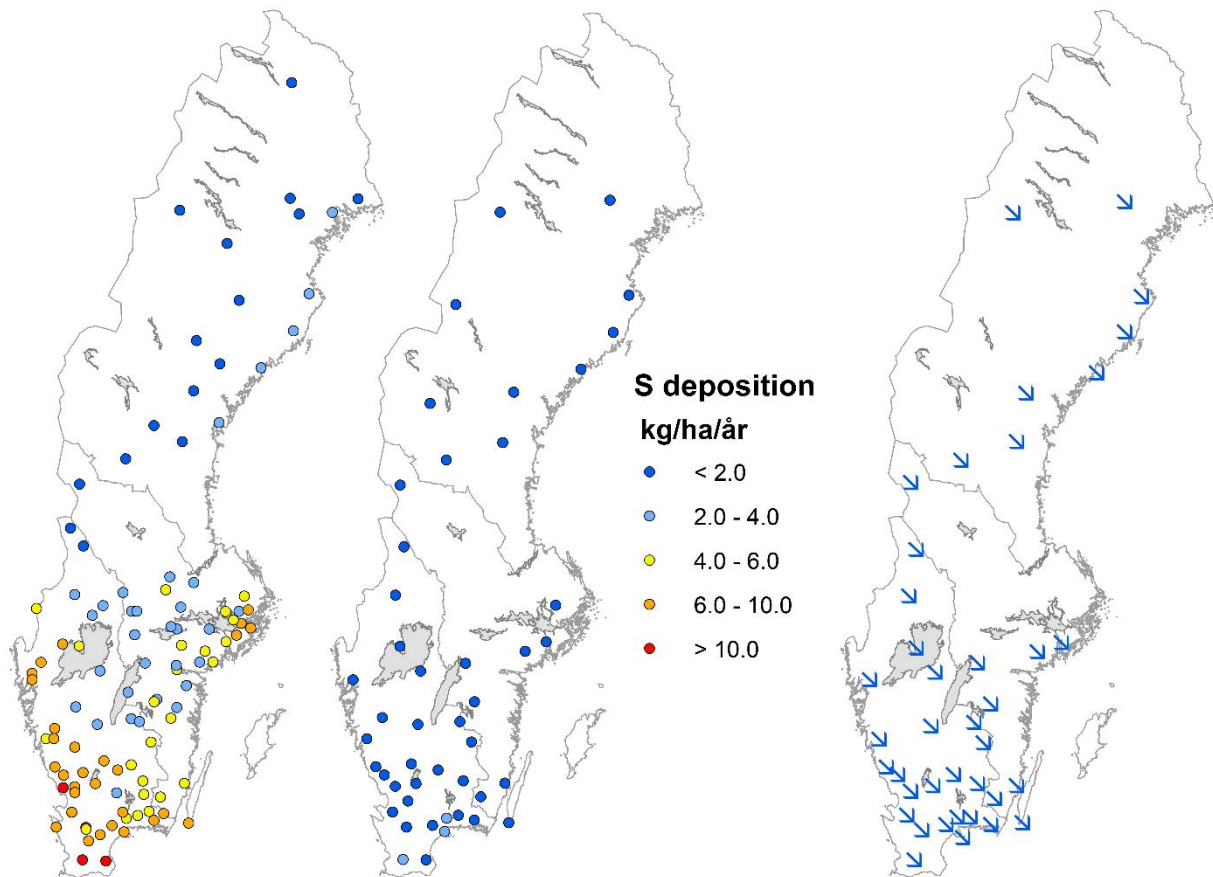
Svavelnedfallet 1996/97 var 4,6 gånger högre i sydvästra Sverige än i norra Sverige, medan det under 2021/22 endast var strax över 2 gånger högre i sydvästra Sverige än i norra Sverige. Dessutom var variationen mellan platserna i de olika regionerna mycket lägre i slutet av perioden än i början. Mot slutet av perioden var det årliga svavelnedfallet relativt lika i norra och sydöstra Sverige, men högre i sydvästra Sverige, Figur 19D. Ett större vulkanutbrott på Island mellan september 2014 och februari 2015 släppte ut svaveloxider motsvarande samtliga svavelemissioner från hela Europa under ett år (Hellsten m.fl., 2017). Inflytandet från vulkanutbrottet på svavelnedfallet i framför allt norra Sverige är tydligt för det hydrologiska året 2014/15 (Figur 19A).



Figur 19. Totalt svavelnedfall via krondropp (SO₄-S), utan bidrag från havssalt, för norra (A), sydöstra (B) och sydvästra Sverige (C). I (D) visas medelvärdet för de olika regionerna under perioden 1996/97 – 2021/22 med andra skalor på x- respektive y-axlarna i diagrammet. Medelvärdet 1996/97 – 2021/22 baseras på mätresultat från 10 stationer i norra Sverige, 12 stationer i sydöstra Sverige och 24 stationer i sydvästra Sverige. Notera olika skalor på y-axlarna i diagrammen.

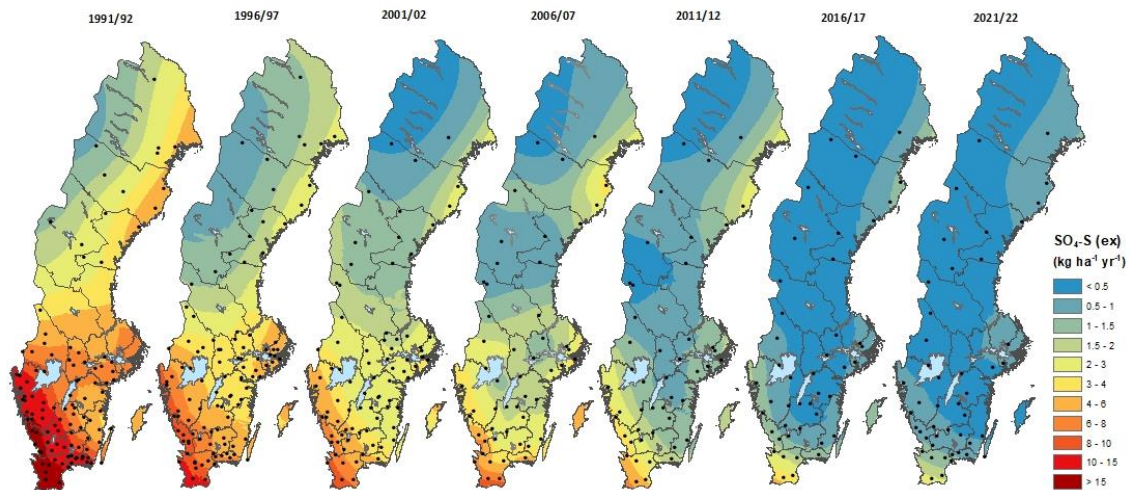
En statistisk analys med Mann-Kendall metodik visade en statistiskt signifikant minskning för medelvärdet för svavelnedfallet i samtliga tre regioner i Sverige för 25-årsperioden 1996/97 – 2021/22 med 90, 89 och 70 % för sydvästra, sydöstra respektive norra Sverige.

I kartorna nedan (Figur 20) visas det årliga svavelnedfallet via krondropp för de individuella mätplatserna. Nedfallet visas som ett medelvärde för 1996/97 – 1998/99 i vänstra kartan, för de ytor som var aktiva under den tidsperioden, och för 2019/20 – 2021/22 i den mittersta kartan, för de ytor som var aktiva under den tidsperioden. I den högra kartan i Figur 20 visas även riktningen på trenden mellan de båda perioderna, för de mätplatser som var aktiva hela tidsperioden 1996/96 – 2021/22. Svavelnedfallet har minskat statistiskt signifikant vid alla mätstationer med långa tidsserier och ligger nu på mycket låga nivåer jämfört med tidigare.



Figur 20. Medelvärden av svaveldeposition mätt som krondropp för perioden 1996/97 – 1998/99 till vänster och perioden 2019/20 – 2021/22 i mitten. Den högra kartan visar riktningen på trenden för de ytor som har mätningar under hela tidsperioden 1996/97 – 2021/22: blå nedåtgående pilar som visar signifikant minskande deposition.

I Figur 21 visar geografiskt interpolerade kartor över årligt totalt svavelnedfall, exklusive bidrag från havssalt, till skog i Sverige med femårsintervall under perioden 1991/92 – 2021/22. Resultaten baseras på resultat från samtliga mätplatser respektive år. Resultaten i Figur 21 visar att gradienten från sydvästra Sverige till norra Sverige höll i sig under hela den 25-åriga tidsperioden. Det finns samtidigt andra mindre gradienter, runt Stockholmstrakten och i norra Sverige från kustområdena i öster mot fjällområdena i väster.



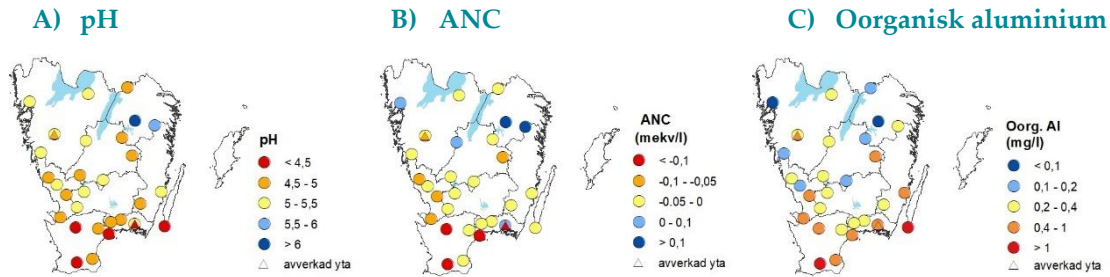
Figur 21. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) till skog med femårsmellanrum under perioden 1991/92 - 2021/22 i krondroppet vid mätstationerna (grandominerade) inom Krondroppsnetet. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

3.3 Återhämtar sig skogsmarken från försurningen i södra Sverige?

Markvattnets försurningsstatus vid Krondroppsnetets mätplatser beror i stor utsträckning på nuvarande och historiskt nedfall av svavel på platsen i kombination med markens buffringsförmåga. På vissa platser, och under vissa perioder, kan även andra faktorer ha stor påverkan. Det kan till exempel vara överskott av kväve som inte tas upp av vegetationen, tillfälligt högre havssaltsnedfall som leder till jonbyte med frigörelse av vätejoner från markpartiklarna till markvattnet, samt olika former av störningar i marken som kan påverka halten löst organiskt kol i marken (Akselsson m.fl., 2013). På längre sikt påverkar även skogsbruket markvattnets försurningsstatus (Akselsson & Belyazid, 2018; Akselsson, m.fl., 2021).

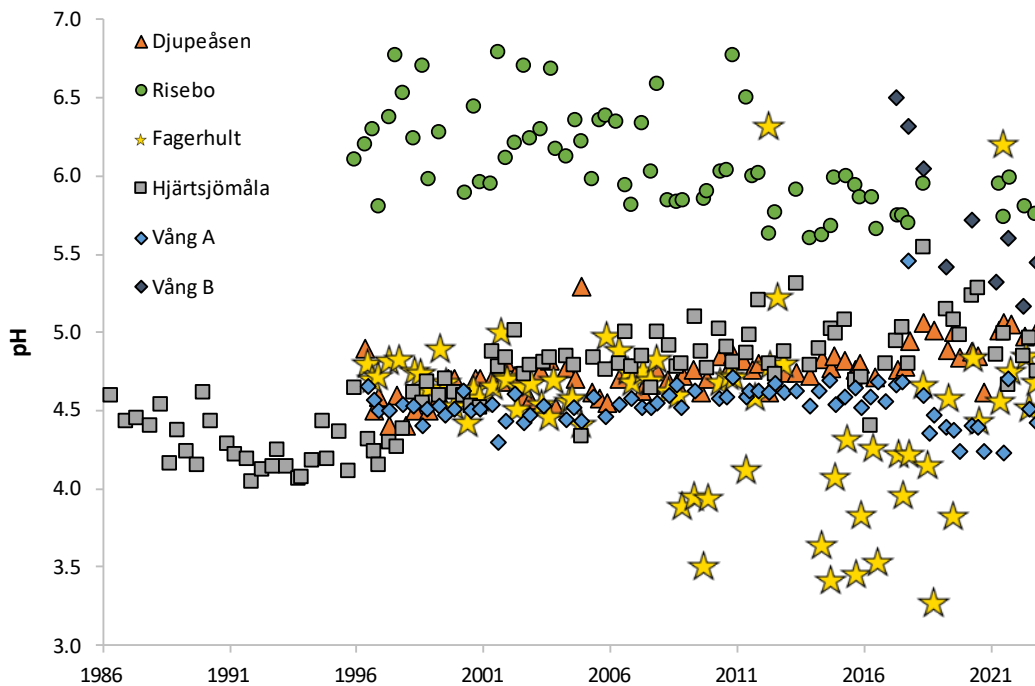
Mätningar i markvatten insamlat från 50 cm djup, det vill säga under rotzonen, ger ett bra mått på markens försurningsstatus och en indikation vad gäller kvaliteten på det vatten som är på väg mot grund- och ytvatten. Markvattnet påverkas av kemin i markprofilen, som i sin tur beror på markens geologiska sammansättning, påverkan av nuvarande och historiskt nedfall av svavel och kväve, samt skogsbruk. Södra Sverige tillhör den del av Sverige som tagit emot mest svavelnedfall, Figur 21, och stora områden är kraftigt försurningspåverkade, men det finns ändå också områden där försurningspåverkan är låg, Figur 22.

Markvattnets pH är ett av de mått i markvattnet som kan användas för att följa återhämtningsförloppet efter försurning. Bedömningen av vid vilket pH som markvattnet kan anses försurat beror till viss del på jordens mineralinnehåll i området, halterna av organiska ämnen med mera. Enligt bedömningsgrunderna för försurad mark innebär pH under 4,4 hög surhet, medan pH 4,4–5,5 innebär måttlig surhet. Även markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC) används för att följa markvattnets återhämtningsförlopp. Ett negativt ANC innebär att det inte finns någon buffringskapacitet i markvattnet. Halterna av toxiskt, oorganiskt aluminium ökar vid ett lågt pH och kan därför användas som ett mått på försurningspåverkan. En mark utan försurningsproblem har sällan halter av oorganisk aluminium över 0,4 mg/l, medan det är vanligt i surare marker.

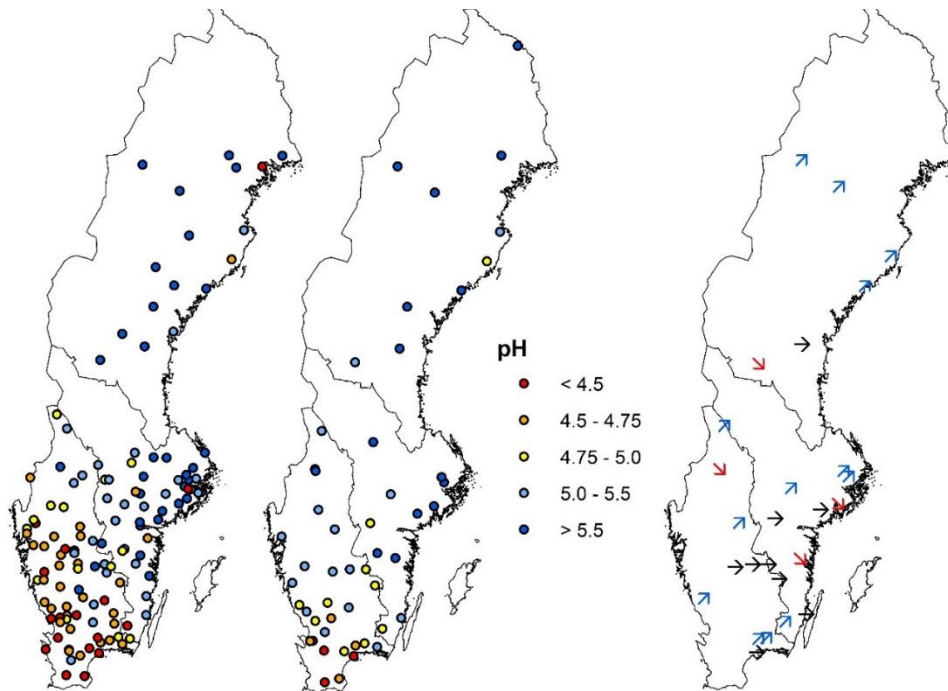


Figur 22. pH, ANC och halten av toxiskt oorganiskt aluminium i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet i södra Sverige. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2020–2022). ANC i avrinnande vattent bör vara betydligt över 0 när det når vattendragen. Ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats, har tagits bort.

Resultaten för några olika parametrar som beskriver utvecklingen av försurningstillståndet i markvattnet vid ett urval av nu aktiva mätplatser i södra Sverige, fram till och med 2022, visas i Figurerna 23–27. I Figur 23 visas tidsutvecklingen av pH i markvattnet för ett urval av aktiva ytor i södra Sverige, och i Figur 24 visas två tidsutsnitt av pH för alla aktiva ytor under två tidsperioder, 1996/97–1998/99 och 2019/20–2021/22, samt eventuella statistiskt signifikanta trender mellan de två perioderna, för ytor med tillräckligt långa tidsserier. Lägst, och mest varierande, pH i markvattnet vid alla nu aktiva ytor är i ytan Fagerhult i Jönköpings län. Ytan uppvisar ingen återhämtning, lägsta uppmätta pH var 3,3, vilket är extremt lågt, och medianvärdet av pH ligger på 4,6. Hälften av ytorna i södra Sverige har pH under 4,9 de senaste tre åren, vilket innebär att de flesta ytor är relativt sura. Bara tre ytor har ett median-pH de senaste tre åren på över 5,5. En av dem, Risebo i Kalmar län, har dock ett statistiskt säkerställt sjunkande pH, tillsammans med Ottenby på södra Öland. Fler ytor har en statistiskt säkerställd ökning av pH.

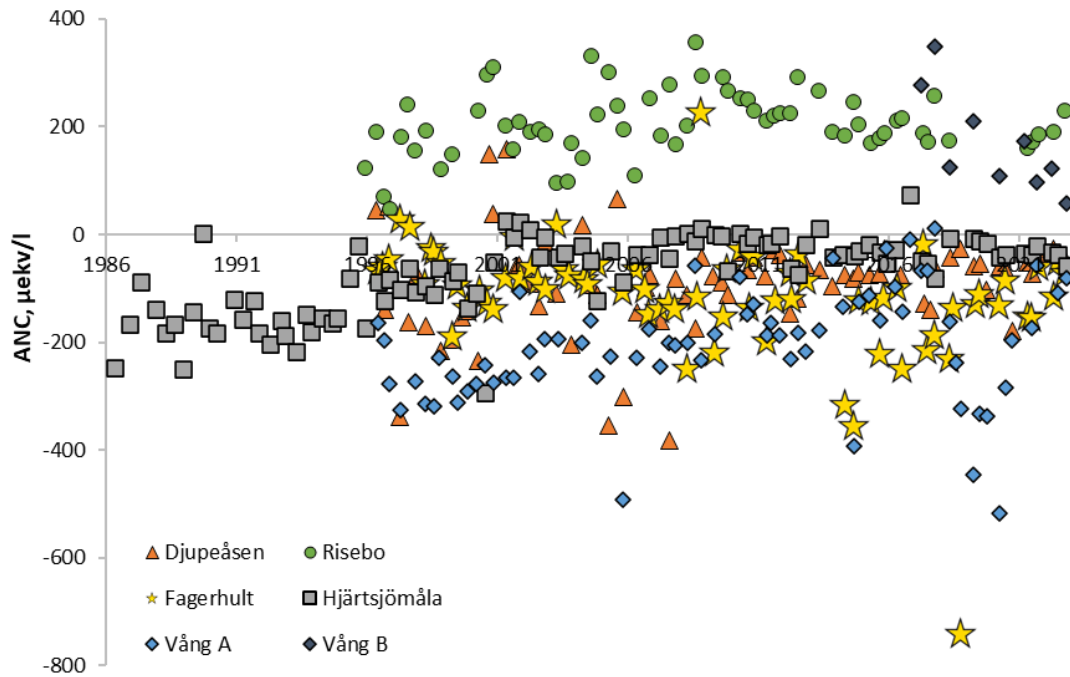


Figur 23. pH i markvattnet vid ett urval av länens provtytor i södra Sverige. Djupeåsen i Hallands län är en försurd yta med bokskog med höga kvävehalter i markvattnet, men som återhämtar sig något från försurning. Risebo är en yta med tallskog i Kalmar län som har högt, men sjunkande, pH. Fagerhult är en yta med granskog i Jönköpings län är starkt försurd trots låga kvävehalter. Hjärtsjömåla är en yta med tallskog i Blekinge län som återhämtar sig långsamt från försurning, liksom granskogen vid Vång A i Blekinge län innan avverkningen, då ytan återförsurades. Ersättningsytan Vång B också med granskog har, trots att den ligger alldeles nära Vång A, mycket högre pH-värden i markvattnet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

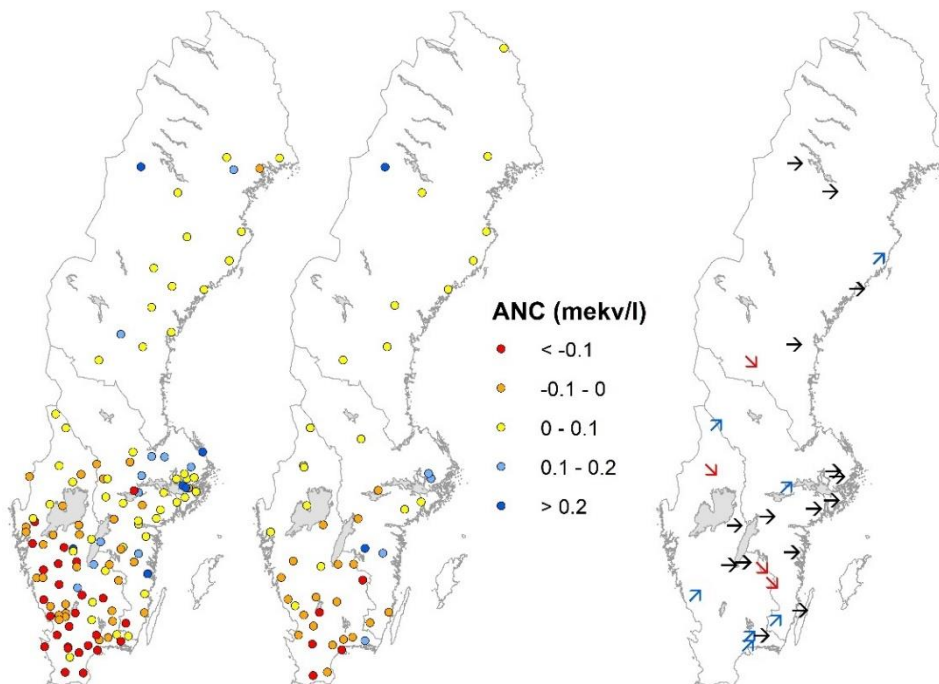


Figur 24. pH i markvattnet, 1996/97–1998/99 och 2019/20–2021/22 (medianvärden) samt signifikanta trender för provytor inom Krondroppsnetet med långa tidsserier: blåa uppåtstående pilar för signifikant ökande pH-värden, svarta pilar för ej signifikanta trender och röda nedåtstående pilar för signifikant minskande pH-värden.

Som beskrivits ovan, påverkas pH i markvattnet av en mängd olika faktorer. Ett mer robust mått på försurning är markvattnets ANC. För att markvattnet ska bidra till en återhämtning från försurning i sjöar och vattendrag måste ANC ha ett värde som är klart större än noll. ANC i markvattnet visas i Figur 25, för ett urval av aktiva ytor i södra Sverige, och för två tidsutsnitt i Figur 26. Positiva ANC-värden är relativt ovanliga i södra Sverige. Ett par ytor, till exempel tallskogen i Risebo i Kalmar län och den ganska nya granytan Vång B i Blekinge län, har klart positiva värden. Flera ytor har en positiv utveckling, granskogen vid Vång A i Blekinge län hade en positiv utveckling, som avbröts efter avverkningen, då förhöjda kvävehalter påverkade försurningsläget och ANC starkt negativt.

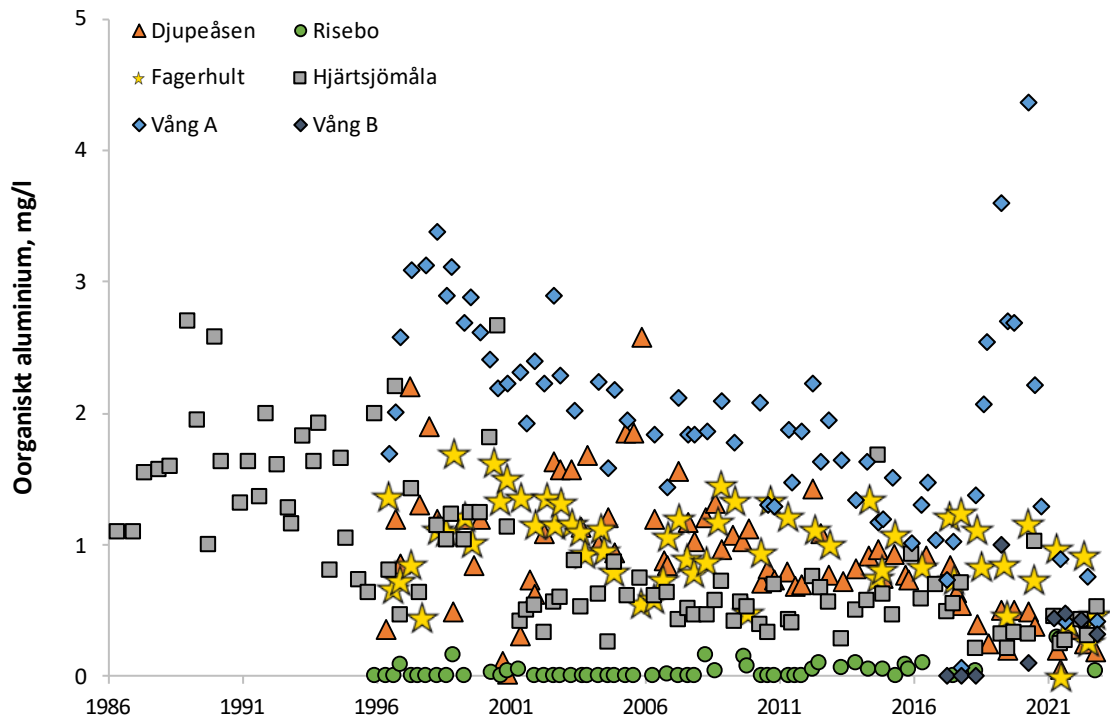


Figur 25. ANC (den syraneutraliserande förmågan) i markvattnet vid ett urval av länens provytor i södra Sverige. Bokskogen vid Djupeåsen i Hallands län är en försurad yta med höga kvävehalter i markvattnet, som återhämtar sig något från försurning. Tallskogen vid Risebo i Kalmar län har klart positiva ANC-värden. Granskogen vid Fagerhult i Jönköpings län är starkt försurad, utan återhämtning. Även tallskogen vid Hjärtsjömåla i Blekinge län har negativ ANC. Granskogen vid Vång A i Blekinge län återhämtades från försurning innan avverkningen, då ytan återförsurades. Granskogen vid Vång B har, trots att den ligger intill, mycket högre ANC-värden i markvattnet. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

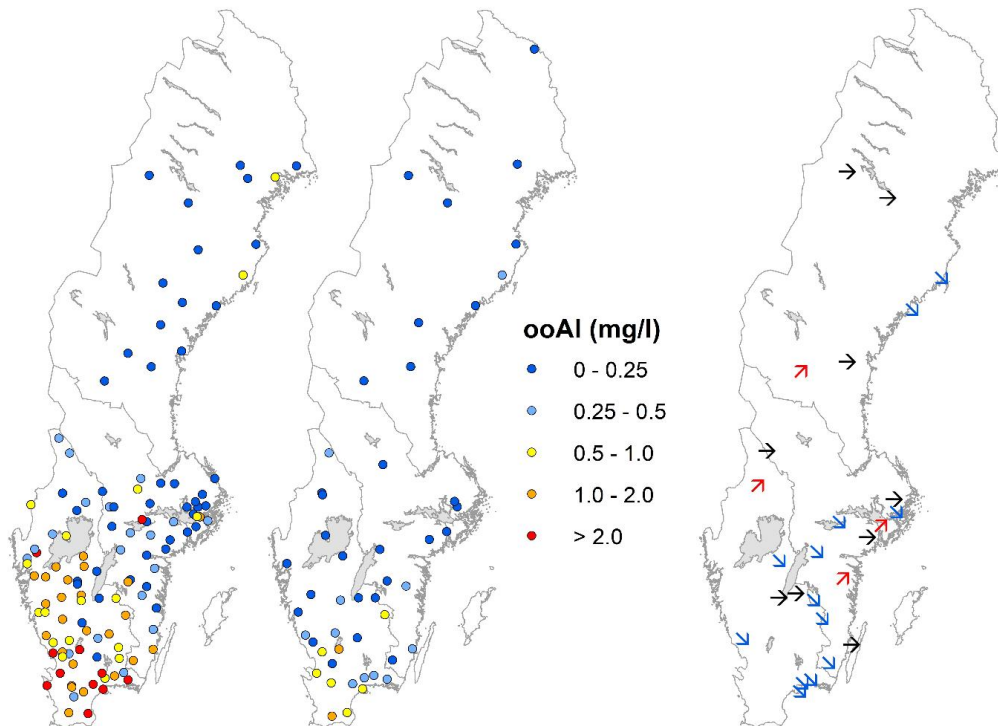


Figur 26. ANC (Acid Neutralizing Capacity) i markvattnet, 1996/97–1998/99 och 2019/20–2021/22 (medianvärden) samt signifikanta trender för provytor inom Krondroppsnätet med långa tidsserier: blåa uppåtgående pilar för signifikant ökande ANC-värden, svarta pilar för ej signifikanta trender och röda nedåtgående pilar för signifikant minskande ANC-värden.

Halterna av oorganiskt aluminium ökar vid lågt pH och är toxiskt för många vattenlevande organismer. Därför bör halten oorganiskt aluminium i markvattnet vara låg. I södra Sveriges krondroppsytor är höga halter mycket vanliga. I de senaste tre årens mätningar har 43 % av ytorna ett medianvärde över 0,4 mg/l, vilket är högt. 11 % har ett medianvärde på över 1,0 mg/l. I Figur 27 visas halterna av oorganiskt-Al i några av provytorna i södra Sverige. De högsta uppmätta halterna i dessa ytor kommer från granskogen vid Vång A, efter avverkningen av skogen, medan tallskogen vid Risebo alltid har låga värden. Den ganska nya granytan Vång B hade mycket låga halter de första mätningarna, men lite högre värden de senaste två åren, samtidigt som pH och ANC har varit lägre än tidigare, men inte låga. Kommande mätningar får visa om det är något bestående, eller om det endast är något tillfälligt. Halterna av oorganiskt Al har annars minskat statistiskt signifikant i många av ytorna, Figur 28, sedan 1997, i takt med att pH har ökat.



Figur 27. Koncentrationer av oorganiskt aluminium i markvattnet vid ett urval av länens provytor i södra Sverige. Alla de utvalda ytorna utom Risebo i Kalmar län och Vång B i Blekinge län har kraftigt förhöjda halter av aluminium. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

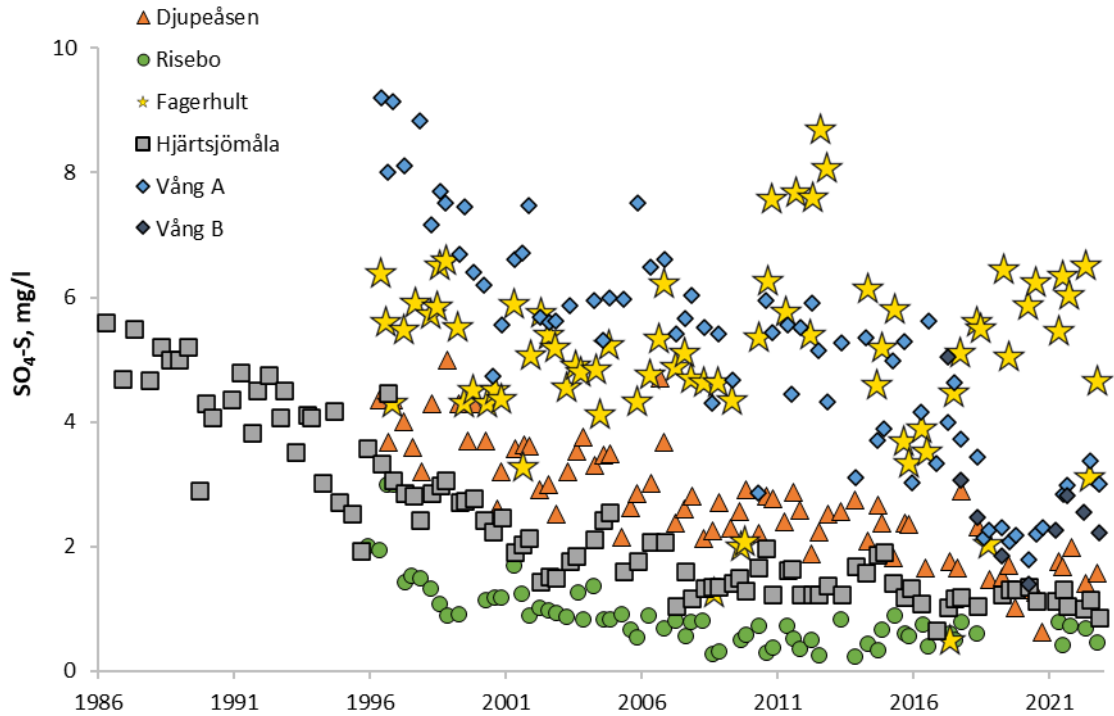


Figur 28 Koncentrationer av oorganiskt aluminium i markvattnet, 1996/97–1998/99 och 2019/20–2021/22 (medianvärden) samt signifikanta trender för ytor med långa tidsserier: röda uppåtgående pilar för signifikant ökande koncentrationer, svarta pilar för ej signifikanta trender och blåa nedåtgående pilar för signifikant minskande koncentrationer.

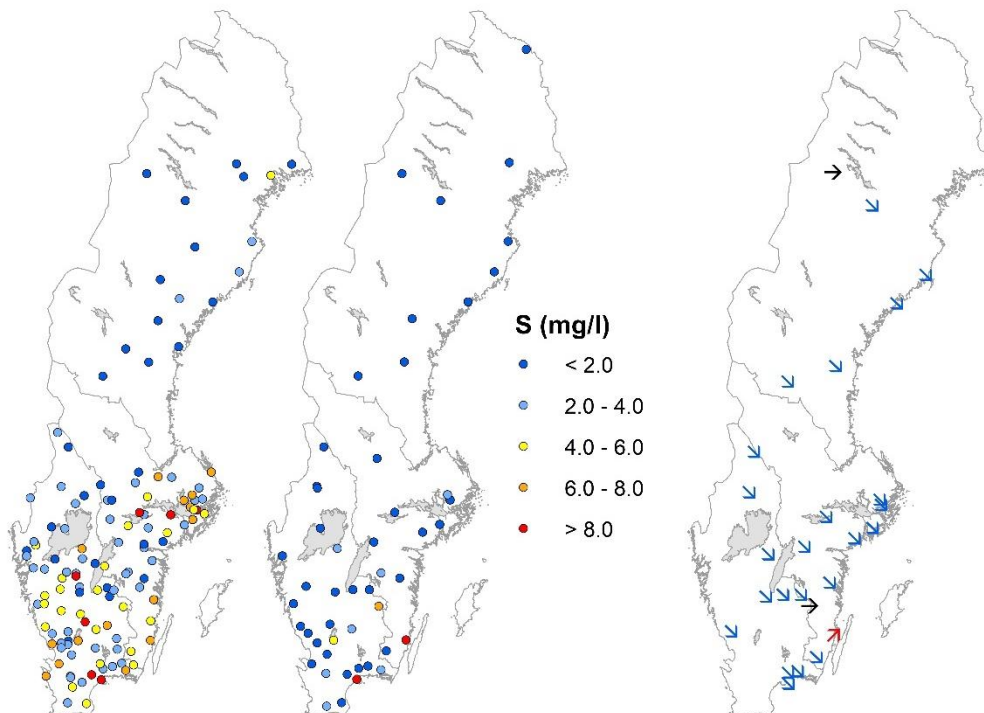
För att förstå de långsiktiga trenderna för markvattnets försurningsstatus kan tidstrender för svavel-, klorid- och nitratkvävehalter i markvattnet vara en bra utgångspunkt, som mått på konsekvenserna av svavelnedfall, havssaltsepisoder med efterföljande jonbyte, samt överskott av kväve. Normalt speglar tidsutvecklingen för svavelhalten i markvattnet det tidigare svavelnedfallet och den första effekten som förväntas i samband med minskning av svavelnedfall är minskade svavelhalter i markvattnet. Ofta finns dock skillnader i trenderna i nedfall och i markvattnet vilket till stor del beror på en fördröjning som orsakas av svaveladsorption/desorption i marken, som innebär att först försurningen, och sedan återhämtningen fördröjs.

Tidsutvecklingen av halterna av svavel i markvattnet i ett urval av mätplatserna i södra Sverige visas i Figur 29, två tidsutsnitt av alla då aktiva mätplatser visas i kartorna i Figur 30, tillsammans med statistiskt säkerställda trender för ytor med långvariga mätningar. Tidsutvecklingen för urvalet av ytor för halterna av klorid i markvattnet visas i Figur 31, medan halterna av nitrat redan visas i Figur 14 och 15.

Vid nästan alla ytor med långvariga mätningar har svavelhalterna i markvattnet minskat statistiskt signifikant. Många ytor i södra Sverige har sett kraftiga minskningar. Även vid ytor som inte har haft försurningsproblem, så som tallskogen vid Risebo i Kalmar län, har svavelhalterna i markvattnet minskat. Granskogen vid Fagerhult i Jönköpings län är ett undantag med höga halter utan någon statistiskt säkerställd minskande trend. Vid en yta, bokskogen vid Ryssberget i Blekinge län, har halterna minskat, men sedan ökat kraftigt de senaste åren, till över 20 mg/l, troligen på grund av en lokal förorening. Även lövskogen vid Ottenby och granskogen vid Rockneby i Kalmar län har en del förhöjda värden. I övrigt varierar svavelhalterna i markvattnet mellan nära 0 och 10 mg/l.

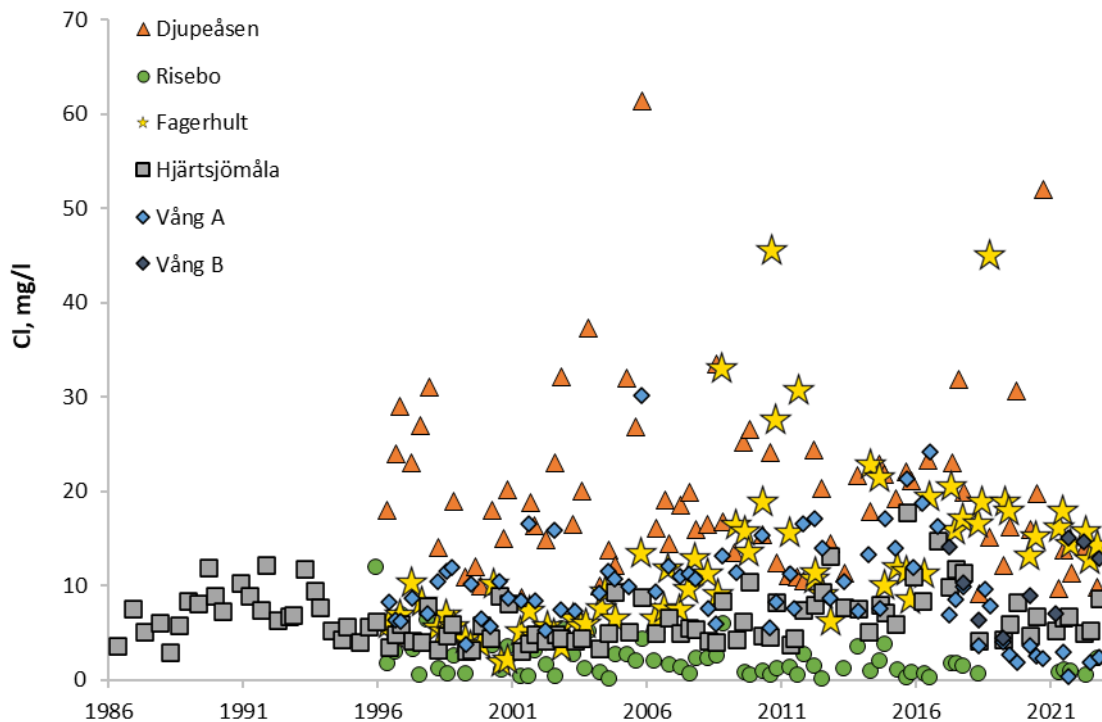


Figur 29. Svavelhalter i markvattnet vid ett urval av länens provtytor: bokytan Djupeåsen, tallytan Risebo, granytan Fagerhult, tallytan Hjärtsjömåla, den tidigare granytan Vång A, som nu är avverkad, och den nya granytan Vång B. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växetsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.



Figur 30. Svavelkoncentrationer i markvattnet, 1996/97–1998/99 och 2019/20–2021/22 (medianvärden) samt signifikanta trender för provtytor i södra Sverige med långa tidsserier: en röd uppåtstående pil för en yta med signifikant ökande koncentration, svarta pilar för ej signifikanta trender och blåa nedåtstående pilar för signifikant minskande koncentrationer.

När man ska tolka försurningstrender är det viktigt att titta på många olika parametrar, däribland kloridhalten i markvattnet, eftersom det ger en indikation på havssaltsepisoder, som kan orsaka surstötter, dvs tillfälliga perioder av högre surhet i markvattnet och avrinningsvattnet. Främst orsakas detta av att natrium (Na^+) i havssaltet byter plats med vätejoner som har lagrats på markpartiklarna i den försurade jorden, vilket leder till sänkt pH i markvattnet, och potentiellt även i ytvattnet om inte vattnet buffras på vägen mellan mark och vattendrag. Kloridhalter i markvattnet kan bli höga vid platser som utsatts för stormar som leder till havssaltsepisoder (Akselsson m.fl., 2013). Detta är speciellt vanligt utmed Sveriges västkust och i Skåne där kloridnedfallet kan bli mycket högt, vanligen runt 50 kilo per hektar. Vissa år kan det bli upp mot 100 kilo per hektar för vissa platser. Längre åt norr och öster i södra Sverige är kloridnedfallet betydligt lägre, vanligen under 20 kilo per hektar och år. Klorid kan även komma från saltning av vägar. I Figur 31 ses några exempel från ytorna i södra Sverige: Djupeåsen i Hallands län ligger nära havet och har höga halter klorid i markvattnet. Risebo i Kalmar län har genomgående låga halter klorid utan stora variationer. Hjärtsjömåla i Blekinge län, som har en av de längsta mätserierna inom Krondroppsnätet, har ganska låga halter klorid, men med två längre perioder med lite högre halter. Vång A i Blekinge län hade ganska varierande halter innan avverkningen, men fick då låga halter när torrdepositionen till träden försvann. Ersättningsytan Vång B har ungefär samma halter av klorid i markvattnet som Vång A hade periodvis före avverkningen. Fagerhult i Jönköpings län har höga kloridhalter i markvattnet, trots att det ligger långt från kusten, och har dessutom en statistiskt säkerställd ökning av kloridhalten i markvattnet från slutet av 1990-talet fram till nu, vilket kan ha påverkat ytans försurning och brist på återhämtning. Även Attsjö i Kronobergs län, Bordsjö i Jönköpings län, Hjärtsjömåla och Ryssberget i Blekinge län, Humlered i Västra Götalands län och Rockneby i Kalmar län har statistiskt säkerställda ökningarna av kloridhalterna i markvattnet, medan Risebo i Kalmar län och Stora Ek i Västra Götalands län har statistiskt säkerställda minskningar av kloridhalterna.



Figur 31. Kloridhalter i markvattnet vid ett urval av länens provtytor i södra Sverige: bokytan Djupeåsen, tallytan Risebo, granytan Fagerhult, tallytan Hjärtsjömåla, den tidigare granytan Vång A, som nu är avverkad, och den nya granytan Vång B. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken.

4 Aktuellt & notiser



Hjärtsjömåla. Fotograf: Per Erik Karlsson

4.1 Totalt kvävenedfall till samtliga kommuner i Sverige. Data till VERA-programmet.

På uppdrag av Jordbruksverket har IVL Svenska Miljöinstitutet beräknat totalt oorganiskt kvävenedfall (nitrat + ammonium) till öppen mark respektive till all mark i Sveriges kommuner. Kvävenedfallet har beräknats för perioden 2017–2021 och beräkningarna baseras på mätningar inom Krondropps nätet men även på mätresultat från vissa ytor inom Svenska Luft och depositionsnätverket (SveLoD) och Integrerad miljöövervakning (IM), där samma typ av mätutrustning har använts. Beräkningar av det totala oorganiska kvävenedfallet inkluderar både torr- och våtdeposition av nitrat och ammonium. Organiskt kväve inkluderas inte. Resultaten från denna studie avses komplettera beräkningsprogrammet VERA, som utvecklats och förvaltas av Jordbruksverket.

Tabeller med kommunvis deposition (öppet fält och totalt), samt arealer av olika markanvändning (jordbruk, skog, övriga markslag) finns i Pihl Karlsson & Hellsten (2022). Med data från rapporten kan även den kommunvisa totaldepositionen till skog beräknas.

Totalt oorganiskt kvävenedfall till öppen mark i kommunerna

Det högsta totala kvävenedfallet till öppen mark för femårsperioden 2017–2021 beräknades för Vellinge kommun i Skåne län med 9,6 kilo N per hektar. Lägst totalt kvävenedfall till öppen mark för femårsperioden 2017–2021 beräknades för Kiruna kommun med 0,7 kilo N per hektar och år.

Totalt oorganiskt kvävenedfall till all mark i kommunerna

Det högsta totala kvävenedfallet till all markanvändning för femårsperioden 2017–2021 beräknades för Svedala kommun i Skåne län med 10,3 kilo N per hektar. Lägst totalt kvävenedfall till all markanvändning för femårsperioden 2017–2021 beräknades för Kiruna kommun med 0,8 kilo N per hektar och år.

Referens: Pihl Karlsson, G. & Hellsten, S. 2022. *Totalt kvävenedfall till kommuner i Sverige. Data till VERA-programmet. IVL Rapport C724.*

4.2 Användningen av satellitdata för att utveckla miljöövervakningen i Sverige

På uppdrag av Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten har IVL under 2022 utfört ett syntesarbete med syftet att genomlysas kunskapsområdet för fjärranalys inom miljöövervakning, för att föreslå lämpliga vägar för att tillvarata nyttan av fjärranalysinformation.

Syntesrapporten tar upp ett flertal användningsområden för fjärranalysdata inom miljöövervakningen, varav ett kapitel handlar om luftkvalitet, med fokus på partiklar, NO₂, SO₂, O₃, NH₃, CO₂ och CH₄. I dagsläget använder inte Naturvårdsverket satellitdata för att utvärdera luftkvalitet eller växthusgaser. På sikt är det dock troligt att kartläggning av luftkvalitet med fjärranalys för vissa luftföroreningar och växthusgaser kan ge ett bra resultat, förenligt med lägre kostnad och i större rumsliga skalor. Utvecklingen på området går snabbt framåt, och ett flertal nya satelliter och instrument är redan planerade att tas i bruk, vilket kommer att få stor betydelse för att förbättra övervakningen av luftföroreningar från satelliter. Satellitmätningar av luftföroreningar behöver dock valideras och kommer därför inte att ersätta behovet av ytobservationer, oavsett vilken typ av applikation och satellitsensor som används.

Referens: Hellsten, S., Ban, Y., Georganos, S., Ihrfors, J., Kronnäs, V., Hafner, S. & Zhang, P. 2022. *Användningen av satellitdata för att utveckla miljöövervakningen i Sverige – En syntes, Naturvårdsverket Rapport 7083.*

4.3 Krondropps nätet bidrar till förbättrade skogliga framtidsprediktioner i forskningsprojektet SPARC

Forskningsprogrammet SPARC (Hållbart nyttjande av skogen under skiftande samhällsparadigmer och ett föränderligt klimat - Informerade beslut baserade på vetenskap och intressentsamverkan), finansieras av FORMAS 2022-2025 och leds av Karin Öhman, SLU i Umeå. Ett viktigt mål med programmet är att förbättra förutsägelseerna av klimateffekter på skogens tillväxt, biologisk mångfald och ekosystemtjänster. I projektet kopplas den dynamiska skogsekosystemmodellen ForSAFE ihop med det skogliga beslutsstödsystemet Heureka, för att minska osäkerheterna i Heurekas förutsägelser för framtiden i ett förändrat klimat. För att kunna göra kopplingarna behöver modellerna först köras parallellt på samma platser, och resultaten jämföras. Detta görs på ungefär 30 av Krondropps nätet mätplatser, som tidigare ingått i Skogsstyrelsen skogliga obsyte-program. Därmed finns det information om tillväxt och markkemi, m.m., från flera mätstillfällen, utöver tidsserierna på nedfall och markvattenkemi. Det goda dataunderlaget gör ytorna lämpliga för jämförelsen. Arbetet utförs av Salim Belyazid, Stockholms universitet, i samarbete med Cecilia Akselsson och forskare på SLU i Umeå och Alnarp.

4.4 Uppdatering av kritisk belastning för kväve

Sedan ett par år tillbaka pågår inom konventionen för gränsöverskridande luftföroreningar (LRTAP, även kallad "Luftvårskonventionen") en process för att uppdatera kritisk belastning för inverkan av kväve på olika landekosystem i Europa.

Det vetenskapliga underlaget som används för att motivera nya belastningsgränser har reviderats, ett arbete som har letts av det tyska Naturvårdsverket. I arbetet som inriktas på nordliga skogar deltog forskare från Sverige (Krondropps nätet), tillsammans med forskare från Finland och Norge. En uppdatering av det vetenskapliga underlaget finns nu publicerat och är tillgängligt på internet, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/review-revision-of-empirical-critical-loads-of>.

Det finns nu förslag till nya, lägre värden för kritisk belastning av kväve till boreala skogar. De nu föreslagna kritiska belastningsgränserna för boreala skogar är främst baserade på risker för negativ påverkan på mossor och lavar i dessa ekosystem. De föreslagna, nya värdena för kritisk belastning av kväve är 3–5 kg N ha⁻¹ år⁻¹ för boreal granskog (benämns i rapporten som "dark taiga") och 2–5 kg N ha⁻¹ år⁻¹ för boreal tallskog ("light taiga"). Tidigare belastningsgränser för dessa skogsekosystem var 5–10 kg N ha⁻¹ år⁻¹.

För tempererade lövskogar föreslås 10–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (tidigare värde 10–20 kg N ha⁻¹ år⁻¹) och för tempererade barrskogar 3–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (tidigare värde 5–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹). Förslagen har godkänts inom Luftvårskonventionen (<https://unece.org/sites/default/files/2023-03/2227828E.pdf>, sidan 5, punkt 13).

Sverige tillämpar sedan tidigare egna värden vad gäller kritisk belastning från kvävenedfall för olika ekosystem. För lövskog i Sverige gäller i nuläget en kritisk belastning i hela Sverige på 10 kg N ha⁻¹ år⁻¹, för barrskog och myrmark 5 kg N ha⁻¹ år⁻¹, och för fjällvegetation 3 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (Moldan m.fl., 2011). Om och i vilken utsträckning de nuvarande nationella värdena för kritisk kvävebelastning kommer att förändras beslutas av Naturvårdsverket under våren 2024.

4.5 Vetenskapliga artiklar där data från Krondropps nätet använts

4.5.1 Rumsliga och tidsmässiga mönster i atmosfäriskt nedfall av löst organiskt kol.

Atmosfäriskt nedfall av löst organiskt kol (DOC) till terrestra ekosystem är en liten, men sällan studerad komponent i den globala kolcykeln. I en vetenskaplig artikel av Liptzin m.fl. (2022) utvärderas de rumsliga

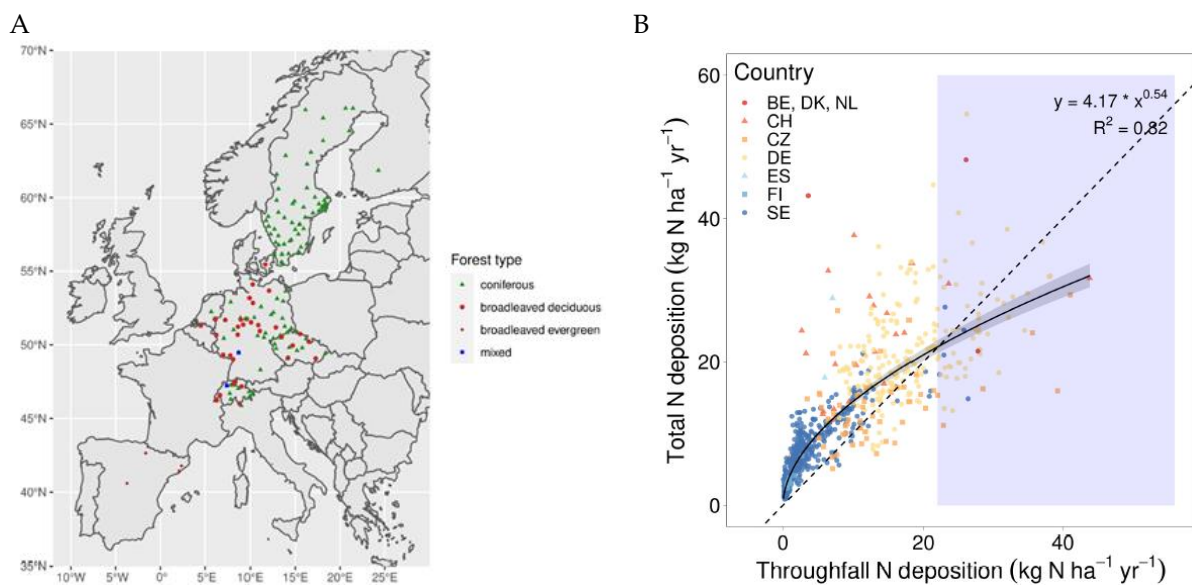
och tidsmässiga mönstren för DOC-nedfallet med hjälp av data från 70 olika mätplatser från hela världen, inklusive mätplatser från Krondroppsnätet. DOC-koncentrationerna i nederbörden var signifikant högre i tropiska (<25 °) breddgrader jämfört med tempererade (>25 °) breddgrader. Med hjälp av de globala median- eller latitudspecifika DOC-koncentrationerna beräknades ett globalt nedfall på 200 – 300 Tg C år⁻¹. Detta kan jämföras med det globala upptaget av kol till biosfären, cirka 11 GtCO₂ år⁻¹ (= ca 3000 Tg C år⁻¹, <https://www.globalcarbonproject.org/>).

Referens: Liptzin, D., Boy, J., Campbell, J., Clarke, N., LaClau, J-P., Godoyg, R., Johnson, S., Kaiser, K., Likens, G., Pihl Karlsson, G., Rogora, M., Sebestyen, S., Shanley, J., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Wilcke, W., Worrall, F. & McDowell, W. 2022. Spatial and Temporal Patterns in Atmospheric Deposition of Dissolved Organic Carbon. *Global Biogeochemical Cycles*, 36, e2022GB007393. <https://doi.org/10.1029/2022GB007393>

4.5.2 Europeisk skattning av kvävenedfall till skog

Kväve tillhör de ämnen där det finns svårigheter med att beräkna totalt atmosfäriskt nedfall till skog baserat enbart på mätningar av krondropp, eftersom en del av det deponerade kvävet tas upp direkt i trädkronorna och därför inte når insamlarna för krondropp vid marken. Emellertid används fortfarande pågående och historiska mätningar av krondropp för att uppskatta kvävenedfall till skog på många håll i Europa.

För att förbättra skattningar av kvävenedfall till skog utifrån krondroppsmätningar har en omfattande, gemensam europeisk studie utförts. Man har använt samlokaliserade mätningar av krondropp och alternativa metoder för att uppskatta den totala torr- och våtdepositionen av oorganiskt kväve till skog i olika delar av Europa. Mätningar inom Krondroppsnätet av krondropp och totaldeposition av kväve med hjälp av strängprovtagare har bidragit med en betydande mängd data till denna studie. I Figuren 32 visas de provtytor som använts i studien samt det samband man tagit fram mellan nedfall av oorganiskt kväve mätt som krondropp och totalt nedfall som summan av torr- och våtdeposition.



Figur 32. Ett utdrag från en sameuropeisk studie där man tagit fram ett samband mellan nedfall av oorganiskt kväve mätt som krondropp och totalt nedfall som summan av torr- och våtdeposition, uppskattat med alternativa mer omfattande metoder. A, karta över de provtytor som använts, där provtytor i Sverige huvudsakligen tillhör Krondroppsnätet. B, det samband som togs fram mellan nedfall mätt som krondropp ("throughfall") och totalt nedfall av kväve till skog. Det blå området i figur B indikerar att sambandet inte ska användas i detta område.

Referens: Braun, S., Ahrends, B., Alonso, R., Augustin, S., García-Gómez, H., Hunová, I., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Schmitz, A. & Thimonier, A. 2022. Nitrogen deposition in forests: Statistical modeling of total deposition from throughfall loads. *Front. For. Glob. Change* 5: 1062223. doi: 10.3389/ffgc.2022.1062223

4.5.3 Klimatpåverkan av vittring i sju svenska regioner

I en forskningsartikel med data från Krondroppsnätet användes den dynamiska datormodellen, ForSAFE, på sju Krondroppsytor, spridda i södra och norra Sverige. Syftet var att undersöka hur vittringen i marken av kalcium, magnesium, natrium och kalium påverkades av framtida klimatförändring, eftersom vittringens storlek beror mycket på temperatur och fuktighet. För att undersöka detta användes ett klimatscenario från IPCC (A1B, som ger en uppvärmning mellan de minst och de mest allvarliga av IPCC:s scenarier) och dessutom en framtida period med sommartorka fem år i rad. Resultaten visade att vittringen kan komma att öka när temperaturen ökar i det framtida klimatet, men att somrar med torka gör vittringshastigheten låg. I södra Sverige beräknades den framtida vittringen öka året runt, om än mest under vår och sommar. I norra Sverige förväntas temperaturen öka mer än i södra Sverige och mer än globalt, och inte minst under vintern. Ökningen i temperatur under vintern kommer dock nästan inte att ha någon effekt på vittringen. Detta eftersom temperaturen ändå oftast kommer att vara under noll och då är vittringen generellt mycket låg. Därför beräknades vittringsökningen i norra Sverige ske under de varma årstiderna. Ämnena som frisläpps av vittringen är viktiga för att skydda marken från försurning och viktiga som växtnäringsämnen.

Referens: Kronnäs, V., Lucander, K., Zanchi, G., Stadlinger, N., Belyazid, S., and Akselsson, C.: Effect of droughts and climate change on future soil weathering rates in Sweden, *Biogeosciences*, 20, 1879–1899, <https://doi.org/10.5194/bg-20-1879-2023>, 2023.

4.5.4 Ny avhandling om effekter av klimatförändringen på träd tillväxt, mark och vatten

Den 30 september 2022 försvarade Klas Lucander, Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap vid Lunds universitet, sin avhandling (Lucander, 2022). Avhandlingen handlade om effekter av klimatförändringen på kol- och näringsomsättningen i nordliga skogar. Klas studerade både direkta klimateffekter i form av ökad temperatur och torka, och indirekta klimateffekter i form av ökat grot-uttag och kvävegödsling, som ofta förespråkas för klimatets skull. Han använde ekosystemmodellen ForSAFE för att göra modellberäkningar på sammanlagt åtta av Krondroppsnätets provytor, från Ammarnäs i norr till Västra Torup och Hissmossa i söder. Klas kunde visa att tidigare markanvändning har stor betydelse för risken för kväveutlakning från växande skog, och att kvävedynamiken därmed kan se väldigt olika ut på närliggande platser, trots att förutsättningarna vad gäller klimatförhållanden och kvävenedfall är väldigt lika.

I en annan studie kunde skillnader i effekter av kvävegödsling mellan södra och norra Sverige demonstreras, med betydligt högre utlakning efter kvävegödsling i söder där markerna är mer kväverika. Effekten på tillväxten var däremot störst i norra Sverige, och ytterst begränsad i söder. Detta stödjer att Skogsstyrelsens rekommendationer vad gäller skogsgödsling skiljer sig åt mellan landsdelarna.

I en studie av effekter av helträdsuttag påvisades en negativ påverkan på halten av baskatjoner i markvattnet under 20–30 år, till följd av minskad mängd organiskt material på marken och därmed minskad nedbrytning. Att effekten är temporär bekräftas av resultat från långliggande försök, och kan förklaras av minskat baskatjonpptag på grund av minskad tillväxt efter helträdsuttag, samt att den högre utlakningen då enbart stannar tas ut på sikt leder till en utjämning.

Slutligen studerades effekten av klimatförändring på vittring och baskatjontillgång. Studien visade att det finns en potential för ökad vittring på grund av högre temperaturer, men att perioder av torka kan göra att effekten tvärtom blir minskad vittring och sämre baskatjontillgång. En övergripande slutsats var att det är mycket viktigt att ta hänsyn till markens egenskaper och markanvändningshistoriken vid val av skogsbruksåtgärder och upprättande av skogsbrukspolicies.

Referens: Lucander, K. 2022. *Direct and indirect pressures of climate change on nutrient and carbon cycling in northern forest ecosystems: Dynamic modelling for policy support*. Doktorsavhandling, Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap, Lunds Universitet.

4.5.5 Krondroppsnätsdata har använts för modellering av lakvatten från gruvor

Data från Krondroppsnätet har använts till forskning om mikrobiell sulfatreduktion i svenska vattendrag. Speciellt vid nedlagda gruvor med höga svavelhalter i utlakande vatten kan naturliga mikroorganismer hjälpa till att binda ner lösta metaller till sedimenten. De skulle därför kunna utnyttjas som en naturbaserad lösning för surt lakvatten. Detta kan undersökas med hjälp av svavelisotoper, där svavel som vittrat från berggrunden har en skild isotopsignal, jämfört med svavel från atmosfärsdepositionen. Data från Krondroppsnätet om svaveldeposition har därför använts för flera platser i Sverige, bland annat i Norrbotten för den nedlagda koppargruvan Nautanen utanför Gällivare (Fischer et al., 2022).

Referens: Fischer S., Jarsjö J., Rosqvist G. & Mörth C.M. 2022. Catchment-scale microbial sulfate reduction (MSR) of acid mine drainage (AMD) revealed by sulfur isotopes. *Environmental Pollution* 292, 118478. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118478>.

4.5.6 Hur påverkar årsnederbörd och markens struktur och mikroorganismers anpassning till förändrade nederbördscyklar?

Data från Krondroppsnätets mätplatser har använts i ett projekt som drivs av forskare vid Lunds universitet. Med klimatförändringarna förväntas mer oregelbunden nederbörd, vilket leder till bland annat längre perioder av torka. Cykler av torka och regn har visat sig avge stor avgång av kol från marken via mikroorganismer, vilket i sin tur påverkar ekosystems kollagring. Genom att använda nederbördsgradienter kan man förutspå hur mikroorganismer kommer påverkas av framtida förändringar i klimatet. I detta projekt undersöks hur markmikroorganismer påverkas av förändrade nederbördscyklar. Mer specifikt studeras hur perioder av torka samt efterföljande nederbörd påverkar mikroorganismers aktivitet, och deras förmåga att ta upp kol genom tillväxt samt avge kol via respiration från marken. Som en del i att förstå detta används mätningar vid 11 mätplatser inom Krondroppsnätet i en väst-östlig nederbördsgradient.

I en första undersökning har fem av dessa platser använts för att undersöka hur skillnader i årsnederbörd påverkar mikroorganismernas förmåga att anpassa sig till nederbördscyklar. Forskarna fann att bakterier på platser med lägre årsnederbörd var mer toleranta mot torka, samt att de kunde återhämta sig snabbare när torkan tog slut. Detta sammanföll med lägre respiration, vilket visar att mikroorganismerna fördelar mer resurser till att växa, vilket på sikt kan lagras som kol. De första resultaten indikerar att mikroorganismer på platser med lägre årsnederbörd är mer anpassade till att klara perioder av torka.

Det andra projektet fortsätter nu att undersöka hur olika markanvändning och olika fysiska markstrukturer kan påverka mikroorganismernas anpassning till klimatförändringar inom nederbördsgradienten. Detta görs genom att förstöra markens struktur med en jordfräs och jämföra med en orörd del. Resultaten som erhålls kan ge bättre förståelse för hur markanvändning bidrar till kolutsläpp via mikroorganismer i ett förändrat klimat.

Mer information kan fås från projektets första fritt tillgängliga artikel.

Referens: Tang, Y., Winterfeldt, S., Brangari, A.C., Hicks, L.C. & Rousk, J. 2023. Higher resistance and resilience of bacterial growth to drought in grasslands with historically lower precipitation, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 177, 2023, 108889, ISSN 0038-0717, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108889>.

5 Tack



Vi vill uttrycka ett varmt tack till samtliga provtagare inom Krondropps nätet som utför ett mycket ovärderligt arbete i fält. Vi vill även uttrycka ett varmt tack till all personal på IVL:s laboratorium för ett mycket bra arbete. Slutligen tackar vi Krondropps nätet samtliga medlemmar för gott samarbete.

Solltorp. Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson

6 Referenser

- Akselsson, C., Belyazid, S., Hellsten, S., Klarqvist, M., Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P.E., Lundin, L. 2010. Assessing the risk of N leaching from Swedish forest soils across a steep N deposition gradient in Sweden. *Environmental Pollution* 158: 3588-3595.
- Akselsson, C., Hultberg, H., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S. 2013. Acidification trends in south Swedish forest soils 1986-2008 – slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. *Science of the Total Environment* 444: 271-287.
- Akselsson, C., Belyazid, S., 2018. Critical biomass harvesting – Applying a new concept for Swedish forest soils. *Forest Ecology and Management* 409, 67-73. DOI 10.1016/j.foreco.2017.11.020.
- Akselsson, C., Kronnäs, V., Stadlinger, N., Zanchi, G., Belyazid, S., Karlsson, P. E., Hellsten, S., Pihl Karlsson, G. 2021. A combined measurement and modelling approach to assess the sustainability of whole-tree harvesting. *Sustainability* 2021, 13, 2395. doi.org/10.3390/su13042395.
- Braun, S., Ahrends, B., Alonso, R., Augustin, S., García-Gómez, H., Hunová, I., Karlsson, P. E., Pihl Karlsson, G., Schmitz, A., Thimonier, A. 2022. Nitrogen deposition in forests: Statistical modeling of total deposition from throughfall loads. *Front. For. Glob. Change* 5: 1062223. doi: 10.3389/ffgc.2022.1062223
- CEIP, 2023. EMEP/CEIP 2022 Present state of emission data; <https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata> or <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2022-submissions>.
- Fischer S., Jarsjö J., Rosqvist G., Mörth C.M., 2022. Catchment-scale microbial sulfate reduction (MSR) of acid mine drainage (AMD) revealed by sulfur isotopes. *Environmental Pollution* 292, 118478. doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118478.
- Hellsten, S., Stadmark, J., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E., Akselsson, C. 2015. Increased concentrations of nitrate in forest soil water after windthrow in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*.356, 234-242.
- Hellsten, S., Gustafsson, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P. E., Akselsson, C. 2017. Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvaliten i Sverige av SO₂-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014–2015 – Utvärdering med Krondroppsnätets mätningar och EMEP modellen. IVL Rapport C 234.
- Hellsten, S., Ban, Y., Georganos, S., Ihrfors, J., Kronnäs, V., Hafner, S. & Zhang, P. 2022. Användningen av satellitdata för att utveckla miljöövervakningen i Sverige – En syntes, Naturvårdsverket Rapport 7083.
- Karlsson, P.E., Ferm, M., Tømmervik, H., Hole, L.R., Pihl Karlsson, G., Ruoho-Airola, T., Aas, W., Hellsten, S., Akselsson, C., Nørgaard Mikkelsen, T. & Nihlgård, B. 2013. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. *Environmental Pollution* 176, 71-79.
- Karlsson, P.E., Cecilia Akselsson, Sofie Hellsten, Gunilla Pihl Karlsson. 2018. A bark beetle attack caused elevated nitrate concentrations and acidification of soil water in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management*, 422, 338-344.
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C., Ferm, M., Hultberg H. 2019. Total deposition of inorganic nitrogen to Norway spruce forests – applying a surrogate surface method across a deposition gradient in Sweden. *Atmospheric Environment* 217, 116964. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116964.
- Karlsson, P.E., C. Akselsson, S. Hellsten, G. Pihl Karlsson. 2022. Twenty years of nitrogen deposition to Norway spruce forests in Sweden. *Science of the Total Environment* 809, 152192.

- Kronnäs, V., Lucander, K., Zanchi, G., Stadlinger, N., Belyazid, S., and Akselsson, C.: Effect of droughts and climate change on future soil weathering rates in Sweden, *Biogeosciences*, 20, 1879–1899, <https://doi.org/10.5194/bg-20-1879-2023>, 2023.
- Liptzin, D., Boy, J., Campbell, J., Clarke, N., LaClau, J-P., Godoyg, R., Johnson, S., Kaiser, K., Likens, G., Pihl Karlsson, G., Rogora, M., Sebestyen, S., Shanley, J., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Wilcke, W., Worrall, F., and McDowell, W. 2022. Spatial and Temporal Patterns in Atmospheric Deposition of Dissolved Organic Carbon. *Global Biogeochemical Cycles*, 36, e2022GB007393. doi.org/10.1029/2022GB007393
- Lucander, K. 2022. Direct and indirect pressures of climate change on nutrient and carbon cycling in northern forest ecosystems: Dynamic modelling for policy support. Doktorsavhandling, Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap, Lunds Universitet.
- Länsstyrelsen Blekinge, 2022. Regional årlig uppföljning – Blekinge län 2022. <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/regional-arlig-uppfoljning-blekinge-lan/>
- Länsstyrelsen Halland, 2022. Regional årlig uppföljning – Halland 2022. <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/hallands-lan/>
- Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2022. Regional årlig uppföljning av miljömålen i Jönköpings län 2022. <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/jonkopings-lan/>
- Länsstyrelsen Kalmar län & Skogsstyrelsen, 2022. Regional årlig uppföljning av miljömålen 2022 Kalmar län. ISSN 0348-8748 <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/Kalmar-lan/>
- Länsstyrelsen Kronoberg, 2022. Regional årlig uppföljning av miljö kvalitetsmålen 2022 i Kronobergs län <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/kronobergs-lan/>
- Länsstyrelsen Skåne, 2022. Regional årlig uppföljning av miljömålen – Skåne 2022. Dnr 501-19191-2022 <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/skane-lan/>
- Länsstyrelsen Västra Götaland & Skogsstyrelsen, 2022. Den regionala årliga uppföljningen av miljö kvalitetsmålen i Västra Götalands län. <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/vastra-gotalands-lan/>
- Länsstyrelsen Östergötland, 2022. Regional årlig uppföljning av miljö kvalitetsmålen i Östergötland 2022. Dnr: 501- 9005-2022-02 <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/ostergotlands-lan/>
- Moldan, F., Munthe, J., Hansen, K., Kyrklund, T., Akselsson, C., Fölster, J., Sverdrup, H. & Belyazid, S. 2011. Swedish NFC Report. I Modelling Critical Thresholds and Temporal changes of Geochemistry and Vegetation Diversity (Posch et. Al. red.). CCE Status Report 2011. ISBN 978-90-6960-254-7.
- Pihl Karlsson, G., Hellsten, S. 2022. Totalt kvävednedfall till kommuner i Sverige. Data till VERA-programmet. IVL Rapport C724.
- Pleijel, H., Grundström, M., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E. & Chen, D. 2016. A method to assess the inter-annual weather-dependent variability in air pollution concentration and deposition in south-west Sweden based on weather typing. *Atmospheric Environment* 126, 200-210.
- Tamm, C.O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecological Studies* 81. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Tang, Y., Winterfeldt, S., Brangarí, A.C., Hicks, L.C. & Rousk, J. 2023. Higher resistance and resilience of bacterial growth to drought in grasslands with historically lower precipitation, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 177, 2023, 108889, ISSN 0038-0717, doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108889.

Bilaga 1. Mätplatserna i södra Sverige

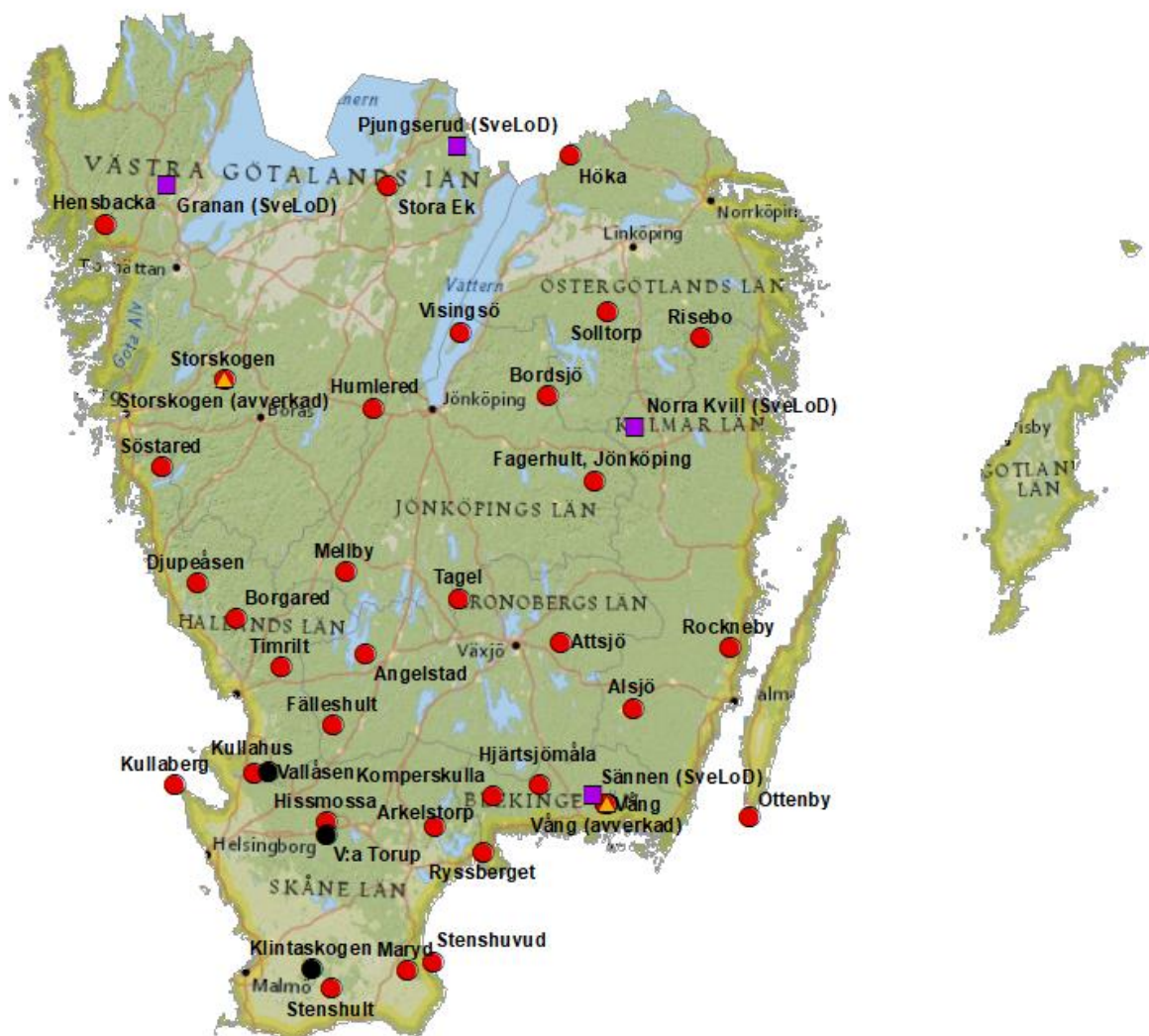
Krondroppsnetet bedriver mätningar vid 32 mätplatser i södra Sverige.

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av lokala provtagare, se information nedan vid beskrivning av de olika mätplatserna.

På IVL har Hampus Bok skött kontakter med provtagare medan främst Paula Andersson, Sari Honkala, Nour Osman, Pia, Spandow, Sara Bodholm, Camilla Hållinder-Ehrencrona, Jessica Ekström och Pernilla Bengtsson har analyserat proverna.

Databasen har skötts av Gunnar Malm.

Datagranskning, databehandling och rapportering av resultaten har utförts av Cecilia Akselsson, Per Erik Karlsson, Sofie Hellsten, Veronika Kronnäs samt Gunilla Pihl Karlsson.



Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

B1:1. Skåne län

Krondroppsnetet bedriver mätningar vid sex mätplatser i Skåne län (Tabell B1.1).

Tabell B1.1. Aktiva mätplatser i Skåne 2021/22. Provtagare var Anders Jonshagen.

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Krondropp	Strängprov	Markvatten	Lufthalter*
Arkelstorp B (L 05B)	Gran		X		X	
Maryd (L 15)	Gran		X		X	
Hissmossa (L 18)	Gran	X ¹⁾	X ¹⁾	X ¹⁾	X	X
Stenshult B (M 16B)	Gran	X	X	X	X	X
Kullaberg (M 24)						X ²⁾
Stenshuvud (L 19)						X ²⁾

* Mätningar inkluderar lufthalter av SO₂, NO_x, NO₂, NO samt NH₃

¹⁾ Finansieras av Naturvårdsverket

²⁾ Mätningar av SO₂, NO₂ samt NH₃ finansieras av Länsstyrelsen i Skåne län



Arkelstorp B (L 05B)

Ytan etablerades år 2013 mindre än 200 meter sydost om den tidigare nu avverkade ytan, L05A, på toppen av Hallabjället, i omkring 40-årig granskog. Krondroppsmätningarna startade i november 2013, men markvattenmätningarna startade först ett år senare (november 2014). Ytan var vid etableringen ganska nyligen gallrad. Den tidigare ytan, L05A Arkelstorp A, var belägen i granskog planterad 1955.

Lufthaltsmätningar har bedrivits vid Arkelstorp under olika perioder.

Maryd (L 15)

Granskog på bördig mark i sydöstra Skåne, planterad 1959. Mätning av nedfall (krondropp) och markvattenkemi i Maryd startade i oktober 2001. Lufthaltsmätningar har bedrivits vid Maryd under olika perioder.





Hissmossa (L 18)

Granskog i norra Skåne, planterad 1972. Ytan utgör en ersättningsyta för Västra Torup, som avverkades i augusti 2010. Hissmossa ligger ungefär 5 km norr om Västra Torup. Mätningarna i krondroppsytan i Hissmossa startade i augusti 2010. Nedfallsmätningarna på öppet fält och lufthaltsmätningarna startade i november 2010, då på en betesmark med nötkreatur. Mätningarna med strängprov startade i juni 2013. ÖF-mätningarna flyttades ett kort stycke till en öppen våtmark i september 2017. För lufthalter och nedfall visas även data från den gamla ytan, **L07A Västra Torup**, och statistiska analyser har gjorts för de sammanslagna tidsserierna, eftersom lufthalter och nedfall bedöms vara jämförbart mellan ytorna. **L07A** var belägen i granskog planterad 1940. Vid statistisk analys av markvattnet analyseras dock de båda mätplatserna separat. Lufthaltsmätningar har bedrivits vid Hissmossa/ Västra Torup under olika perioder.

Stenshult (M 16)

Omkring 50-årig granskog på relativt plan mark längst uppe på östra delen av Romeleåsen. Ytan startades som ersättning för den avslutade ytan Klintaskogen, som också var belägen på Romeleåsen, ca 12 km sydväst om Stenshult. Platsen är mycket öppet exponerad åt söder. Krondropps- och markvattenmätningar startade i maj 2010, och markvattenmätningarna samt mätningarna på öppet fält i november samma år. Mätningarna med strängprov startade i juni 2013. Lufthaltsmätningarna startade i januari 2015. På grund av avverkning flyttades krondroppsytan i Stenshult en kort sträcka i augusti 2019 till en ny granyta (M16B).



Stenshuvud (L 19)

Länsstyrelsen i Skåne har under 2022 startat mätningar i skyddade områden vid Stenshuvud Nationalpark, som en förtätning av Krondroppsnetet. Lufthaltsmätningarna och mätningar av partiklar startade i januari 2022. I denna rapport redovisas endast lufthaltsmätningarna.





Kullaberg (M 24)

Länsstyrelsen i Skåne har under 2022 startat mätningar i skyddade områden vid Kullaberg Naturresevat som en förtätning av Krondroppsnetet. Lufthaltsmätningarna och mätningar av partiklar startade i januari 2022. I denna rapport redovisas endast lufthaltsmätningarna.

För lufthalter och nedfall visas även data från den gamla ytan, M13A Klintaskogen, och statistiska analyser har gjorts för de sammanslagna tidsserierna, eftersom lufthalter och nedfall bedöms vara jämförbart mellan ytorna. **M13A** var belägen i granskog planterad 1957. Vid statistisk analys av markvattnet analyseras dock de båda mätplatserna separat.

B1.2. Blekinge län

I Blekinge län fanns fem aktiva lokaler inom Krondroppsnetet 2021/22 (Tabell B1.2).

Tabell B1.2. Aktiva mätplatser i Blekinge län 2021/22. Provtagare var Anders Jonshagen.

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Krondropp	Markvatten
Hjärtsjömåla (K 03)	Tall		X	X
Ryssberget (K07)	Bok		X	X
Komperskulla (K11)	Bok	X	X	X
Vång (K13) A-yta (avverkad)	f.d. Gran*			X
Vång (K13) B-yta	Gran		X	X

* Avverkad hösten 2016

Utöver Krondroppsnetets mätningar rapporteras även mätresultaten från mätplatsen Sannen som ingår i den nationella miljöövervakningen inom SveLoD, se karta ovan. Mätningarna av lufthalter och nederbörds kemi sker med samma typ av utrustning som används inom Krondroppsnetet.

**Hjärtsjömåla (K 03)**

Tallskog, planterad 1935. Ytan ligger i småkuperad terräng som drabbades av brand cirka 1920. Depositions- och markvattenmätningarna startade 1985. Denna yta har, tillsammans med Ryssberget, Sveriges längsta mätserie vad gäller krondropp och markvattenkemi.

Ryssberget (K 07)

Yta i en gammal bokskog, planterad 1876, med mätningar sedan 1985. Ytan är belägen strax norr om Sölvesborg. Den ligger topografiskt mycket högt jämfört med omgivande landskap och är starkt vindexponerad. Mätningarna av markvattnet ligger en liten bit ifrån krondropps-mätningarna, i ett lägre beläget surdrag.





Komperskulla (K 11)

Yta i nordvästra Blekinge, med bokskog planterad 1925. Ytan ligger i en sluttning åt öster och är inte vindexponerad. Beståndet i Komperskulla är självföryngrat på gamla betesmarker. Mätningarna i Komperskulla startade i november 1995. Nederbördskemiska mätningar på öppet fält avslutades i december 2001, men återupptogs i juni 2009.



Vång (K 13A och B)

A-ytan i Vång var belägen i granskog, planterad 1931, söder om Tving. Ytan skadades något i stormen Gudrun 2005, då ett fåtal träd på ytan blåste ner. En större mängd träd blåste ner 200 m nordväst om ytan. Mätning av deposition och markvatten startade i oktober 1996. A-ytan i Vång avverkades under oktober 2016, men markvattenkemi mäts fortsatt för att följa upp avverkningseffekterna. Efter avverkningen startades även ytvattenmätningar i en bäck drygt 100 m från A-yta och mätningarna bedrevs mellan 2016 och 2020. I december 2016 startades en ny yta i Vång, K13B, i granskog drygt 500 m från A-ytan. Fotografierna visar krondroppsytan Vång-B



B1:3. Hallands län

I Hallands län fanns fem aktiva lokaler inom Krondroppsnätet under 2021/22 (Tabell B1.3).

Tabell B1.3. Aktiva mätplatser i Halland 2021/22. Provtagare var: Percy Adolfsson och Hans Schibli.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Strängprov	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter			
						SO ₂	NO ₂	NH ₃	O ₃
Söstared (N 01)	Tall/gran			X	X				
Borgared (N 12A#/B)	Gran			X	X				
Timrilt (N 13)	Gran	X*	X*	X*	X	X	X	X	**
Djupeåsen (N 14)	Bok			X	X				
Kullahus (N 19)	Gran			X	X				

*Finansierat av Naturvårdsverket ** ingår i Ozonmättnätet i södra Sverige och tas därför inte upp i denna rapport. # Borgared A avverkades under 2019



Söstared (N 01)

Ursprungligen en gles tallskogsyta, planterad 1923, där det efterhand växt upp en tät föryngring av främst gran under huvudbeståndet. Ytan anlades 1987 och strax därefter gallrades beståndet (inklusive själva provytan). Deposition och markvatten har provtagits sedan hösten 1987. Markvattenprovtagningarna flyttades år 2000 en kort sträcka. Stormen Gudrun (2005) påverkade ytan i Söstared förhållandevis lite genom att endast en tall blåste ned.

Borgared (N 12)

En granskogsyta, planterad 1938. Den ursprungliga ytan låg i ett ca 3 hektar stort skogsområde där omgivande skog har avverkats. Sannolikt är det första generationens granskog på gammal betesmark. Mätning av deposition och markvatten startade 1996. Stormen Gudrun (2005) påverkade ytan i Borgared i stor utsträckning, då 15 granar föll och bildade en lucka i provytan. Efter stormen har ytterligare träd fallit. Den skadade ytan Borgared A avverkades och ersattes under 2019 med en ny yta, Borgared B, också den i granskog, se foto till höger.





Timrilt (N 13 B)

Tidigare granyta (N13A) skadades kraftigt av stormen Gudrun (2005) vilket medförde att ytan under hösten 2008 flyttades till en närliggande yta (N13B) ca 1,5 km sydost om den gamla ytan.

Mätning av deposition och markvatten startades vid den gamla ytan 1996 och vid den nya ytan 2008. Öppet fält- och strängprovtagningsmätningarna flyttades 2015 till den nya ytan. På grund av att hygget börjat växa igen flyttades öppet fält- och strängprovtagningsmätningarna till en ny plats i december 2020.



Djupeåsen (N 14)

En bokyta, planterad 1920. Själva ytan ligger i en sluttning mot sydost. Marken är mycket bördig. Området var betat fram till början av 1950-talet. Mätning av deposition och markvatten startade 1996.

->



Kullahus (N 19)

En granyta belägen på Hallandsåsen. Ytan ersatte en tidigare yta Vallåsen (N 17) som skadats kraftigt av stormarna Gudrun (2005) och Per (2007). Vallåsen var belägen i granskog som planterades 1937 var placerad på östra delen av Hallandsåsen. Ytan var starkt exponerad. Kullahus ligger endast 3–4 km från Vallåsen. Mätningar av krondropp och markvattenkemi startades under 2010. Parallella mätningar av nedfall innan flytt genomfördes vid de båda ytorna. Markvattenmätningar startades 2011.

<-

B1:4. Kalmar län

I Kalmar län finns fyra aktiva lokaler inom Krondroppsnetet 2021/22 (Tabell B1.4).

Tabell B1.4. Aktiva mätplatser i Kalmar län 2021/22. Provtagare var: Magnus Hellström, Jan Torstensson, Matilda Broo och Ewa Williamsson.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Strängprov	Kron-dropp	Markvatten	Lufthalter	
						SO ₂ / NO ₂ / NH ₃	O ₃
Ottenby (H 01)	Ek	X*		X	X	X	**
Rockneby (H 03)	Gran	X*	X*	X*	X	X	**
Alsjö (H 22)	Gran			X	X		
Risebo (H 21)	Tall				X		

*Finansierat av Naturvårdsverket ** ingår i Ozonmättnätet i södra Sverige och tas därför inte upp i denna rapport.

Utöver Krondroppsnetets mätningar rapporteras även mätresultaten från mätplatsen Norra Kvill som ingår i den nationella miljöövervakningen inom SveLoD. Mätningarna av lufthalter och nederbörds kemi sker med samma typ av utrustning som används inom Krondroppsnetet.



Ottenby (H 01):

Gammal, 148-årig ekskog i norra delen av Ottenby lund. Mätningarna på öppet fält och i kron-dropp startades 1990. Mätningarna på öppet fält avslutades i december 2000, men återupptogs i juni 2009. Markvattenmätningarna startades 1994 och lufthaltsmätningarna 1998. Skogsytan är inhägnad och inte utsatt för samma betestryck som omgivande ekskog. Ytan röjs dock från sly kontinuerligt.



**Rockneby (H 03):**

Yta nordväst om Kalmar med en över 100 år gammal granskog. Nedfalls- samt markvattenmätningarna i Rockneby startade 1997 och lufthaltsmätningarna 1998. Mätningarna vid Rockneby ersatte ytan Böle. Öppetfältytan flyttades hösten 2000 samt under 2009. Skogsytan påverkades eventuellt av närliggande avverkningar 2003 med hyggeskant ca 50 m norr om skogsytans kant.

**Alsjö (H 22):**

Yta med 80-årig granskog, belägen en halvmil öster om Emmaboda. Under stormen Gudrun 2005 föll enstaka träd i eller i närheten av ytan. På grund av barkborreangrepp togs träden bort på en yta som tangerar provytan (1000–2000 m²) under 2006–2007. Ytan är även under senare år påverkad av vildsvin. Markvattenmätningarna startade 1997. Krondropps-mätningarna startade 1995.

**Risebo (H 21):**

Yta med 81-årig tallskog i länets nordligaste del. Ytan klarade sig bra under stormen Gudrun 2005, med endast något toppbrott. Depositions- och markvattenmätningarna startade 1995 och lufthaltsmätningarna 1998. Lufthaltsmätningarna avslutades 2018. Krondropps-mätningarna pausades 2019 för att sedan återupptas 2022. Markvattenmätningarna pausades under 2019 för att sedan återupptas 2021.



B1:5. Kronobergs län

I Kronobergs län fanns fyra aktiva lokaler inom Krondroppsnetet 2021/22 (Tabell B1:5).

Tabell B1.5. Aktiva mätplatser i Kronobergs län 2021/22. Provtagare var: Elis Bengtsson.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Krondropp	Markvatten
Fälleshult (G 18)	Gran		X	X
Attsjö (G 21)	Tall		X	X
Tagel (G 22)	Gran	X*	X	X
Angelstad (G 23) A/B/C	Gran		X	X

*Finansierat av Naturvårdsverket



Angelstad (G 23)

Yta sydost om Bolmen med granskog. På samma sätt som för Attsjö och Tagel startade mätning av deposition och markvatten i maj 1996. Krondroppsytan vid Angelstad skadades av stormarna Gudrun och Per. Dessutom uppstod nya stormfällan vid ett antal tillfällen följande år. Krondroppsytan flyttades därför ca hundra meter åt sydost i mitten av oktober 2013, till ytan Angelstad B. Under 2021 meddelades att den nya ytan skulle avverkades. Därför flyttades provytan under 2021. Även denna gång flyttades provytan endast en kort sträcka, nu ytterligare ca 100 m åt sydost. Trädslaget är även fortsättningsvis gran. Detta nya bestånd är 42 år gammalt. Den nya ytan betecknas Angelstad C.

Attsjö (G 21)

Yta med 101-årig tallskog två mil öster om Växjö. Beståndet ligger i ett plant område. Liksom i Angelstad och Tagel startade mätningarna i maj 1996.





Tagel (G 22)

Yta i 97-årig granskog nordväst om Alvesta. Depositions- och markvattenmätningarna startade 1996. Mätningar på öppet fält avslutades i december 2001, men återupptogs i januari 2004. Krondropps- och markvatten- samt öppet fältmätningarna flyttades hösten 2007, på grund av barkborreangrepp som uppkom efter stormen Gudrun. Den nya ytan ligger ca 800 m sydost om den gamla ytan i en granskog med ungefär samma ålder som den gamla.



Fälleshult (G 18B)

En granyta i västra delen av länet, ca 10 km väster om Strömsnäsbruk. Ytan ligger några hundra meter väster om den tidigare krondroppsytan vid Fälleshult som var aktiv mellan 1999 och 2008, då den avverkades efter stormskador. Den nya ytan startade upp i november 2017 och mätningarna påbörjades i december 2017. På ytan växer ca 35–40 år gammal granskog, med inslag av några få tallar. Ytan är småkuperad och relativt fuktig.

B1:6. Jönköpings län

I Jönköpings län fanns fyra aktiva lokaler inom Krondroppsnetet 2021/22 (Tabell B1:6).

Tabell B1.6. Aktiva mätplatser i Jönköpings län 2021/22. Provtagare var: Stefan Eriksson, Elis Bengtsson och Ingemar Zander.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Strängprov	Kron-dropp	Markvatten	Lufthalter	
						SO ₂ / NO ₂ / NH ₃	O ₃
Mellby (F 18)	gran			X	X		
Bordsjö (F 22)	gran			X	X		
Fagerhult (F 23)	gran	X	X	X	X	X	**
Visingsö (F 20)		X*					**

* Finansierat av Vätternvårdsförbundet ** ingår i Ozonmättnätet i södra Sverige och tas inte upp i denna rapport.

Mellby (F 18)

Granyta, planterad 1954, i sydvästra delen av länet. Mätningar av nedfall och markvatten startade under det hydrologiska året 1998/99. Skogsytan stormskadades vid stormen Gudrun i januari 2005, då 15 granar blåste ner samt att många träd även blåste ned utanför ytan. I det området som påverkades av stormen Gudrun växer mest kruståtel och lite ormbunkar, tåg samt starr.



Bordsjö (F 22)

Yta öster om Aneby. Skogen utgörs av ganska tät granskog utan fältskikt, planterad 1952 på gammal betesmark. Beståndet är delvis skadat av vilt och röta. Ytan skadades måttligt i samband med stormen Gudrun i januari 2005 då 10–12 granar fälldes i ytan eller in i ytan. Mätningar av nedfall och markvatten startade i januari 1996. I februari samma år startades även mätningar av lufthalter.



Fagerhult (F 23)

Yta med granskog planterad 1951 på bördig mark, som troligtvis har varit betesmark. Beståndet har högre bonitet än övriga granytor i länet. Mätningar av nedfall på öppet fält och som krondropp samt markvatten startade i januari 1996. I november 2000 startades mätningar av lufthalter. I januari 2008 skadades ytan av en storm och vid uppröjningen i april blev körskadorna större. Detta medförde att vissa lysimetrar samt en del av krondroppslinjen flyttades något. Ytan ligger idag precis i kanten av hygget. Sedan juni 2013 mäts även torrdepositionen till skog med hjälp av strängprovtagare under tak.



Visingsö (F 20)

Yta med öppet fältmätningar sedan 1993. Mätningarna på Visingsö flyttades av praktiska skäl i januari 2002 tre km längre söderut till Kumlaby. I mars/april 2005 flyttades mätningarna dock tillbaka till Säby, ca 100 meter från den ursprungliga platsen. Placering vid Kumlaby var inte lika vindexponerad som den ursprungliga/nuvarande placeringen. Mätningarna på Visingsö genomförs på uppdrag av Vätternvårdsförbundet. Vid ytan mäts även metaller i nederbörden.



B1:7. Östergötlands län

I Östergötlands län fanns två aktiva lokaler inom Krondroppsnetet 2021/22 (Tabell B1:7).

Tabell B1.7. Aktiva mätplatser i Östergötlands län 2021/22. Provtagare var: Kerstin Frid och Milena Stefanovic.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter	
					SO ₂ / NO ₂ / NH ₃	O ₃
Solltorp B (E 21)	Gran		X	X		*
Höka (E 22)	Tall	X	X	X	X	*

* ingår i Ozonmättnätet i södra Sverige och tas därför inte upp i denna rapport.



Solltorp (E 21)

Mätning av deposition och markvatten startade vid Solltorp A i oktober 1996. Skogen vid Solltorp A avverkades i slutet av 2020 och en ny yta (Solltorp B), med krondropps- och markvattenmätningar startade ca 1 km norr om den tidigare mätplatsen.

Lufthaltsmätningar pågick vid Solltorp mellan 1998–2006. I dagsläget mäts ozon vid Solltorp inom projektet "Ozonmättnätet i södra Sverige".

Höka (E 22)

En tallyta, planterad 1935, i länets nordvästligaste hörn, foto till höger. Skogsytan är gallrad troligen under perioden 2011–2013. Under vintern 2013–2014 körde en skogsmaskin rakt igenom ytan med vissa körskador som följd. Den utrustning som skadats reparerades under april 2014.

Mätning av deposition över öppet fält- och i skogsytan samt markvatten startade 1996 och lufthaltsmätningarna startade i februari 1998. I september 2002 avslutades mätningarna över öppet fält och i slutet av juli 2009 startade de igen. Foto nederst till höger.





B1:8. Västra Götalands län

I Västra Götalands län fanns fem aktiva lokaler inom Krondroppsnetet 2021/22 (Tabell B1:8).

Tabell B1.8. Aktiva mätplatser i Västra Götalands län 2021/22. Provtagare var: Ingemar Strid, Oskar Sundbaum, Magdalena Eriksson och Håkan Magnusson.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Strängprov	Krondropp	Markvatten	Lufthalter, SO ₂ , NO ₂ , NH ₃	O ₃
Storskogen (P 95A)*	Gran	X			X		
Storskogen (P 95B)	Gran			X	X		
Hensbacka (O 35)**	Gran	X**	X**	X**	X	X	***
Humlered (P 93)	Tall			X	X		
Stora Ek (R 09)	Gran			X	X		

*Vid Storskogen bedrivs även mätningar av bäckvatten via separat finansiering. Krondroppsytan P95A avverkades i juni 2018. En ny krondroppsytta, P95B, etablerades under hösten 2017. ** Finansieras av Naturvårdsverket. *** ingår i Ozonmättnätet i södra Sverige och tas därför inte upp i denna rapport.

Utöver Krondroppsnetets mätningar rapporteras även mätresultaten från mätplatserna Pjungsärad och Granan som ingår i den nationella miljöövervakningen inom SveLoD, se karta ovan. Mätningarna av lufthalter och nederbördskemi sker med samma typ av utrustning som används inom Krondroppsnetet.



Storskogen (P 95A+B)

En ny krondroppsytta, P 95 B, etablerades under hösten 2017 efter information om en kommande avverkning av P 95 A, vilket möjliggjorde parallella mätningar på P 95 A och P 95 B under en tid. Fotografier visar mätningar på öppet fält (överst) samt den nya krondroppsytan, P 95 B (underst). Provytan ligger i ett avrinningsområde på ca 420 ha där Länsstyrelsen provtagit vattenkvaliteten i avrinningen mellan 1997-2022. Den tidigare provytan P 95 A var placerad i en granskog, planterad 1925. Ytan anlades i juli 2013. Mätningar som startade 2013 bestod av deposition via krondropp och markvattenkemi. Mätningar över öppet fält startade i oktober 2014. Med finansiering från Havs- och vattenmyndigheten och Länsstyrelsen i Västra Götalands län etablerades även mätningar av bäckvatten, mätningar i grundvattenrör i mineraljord och i våtmark i anslutning till krondroppsytan. Dessutom startades mätningar av markvattenkemi året runt. Dessa kompletterande mätningar etablerades under 2014, 2015 och 2016. Krondroppsytan P 95 A avverkades i juni 2018.

Humlered (P 93)

Yta med tallskog, planterad 1948. Ytan ligger på plan mark på ett sediment (grovm). Jordmånen är podsol. Från och med december 2001 mäts, förutom markvatten, deposition via krondropp. Under senare år har skogsbestånd rakt söder om krondroppsytan avverkats.

**Hensbacka (O 35)**

I augusti 2017 flyttades krondroppsytan ca 500 meter åt sydost på grund av att det förekom en del nedfallna träd. Den nya B-ytan sluttar åt norr, med en sänka, som är något fuktigare jämfört med resten av ytan. Det är en del luckor i granbeståndet. Humuslager och blekjord utgör tunna skikt, medan rostjorden är ett bredare skikt. Skogen är troligen mellan 50 och 60 år gammal.

Den tidigare provyta med gran var planterad 1919. Marken utgjordes av sandig morän, jordmånen var podsol. Mätningarna i krondropp och på öppet fält startade 1989. Provytan för nederbörd till öppet fält flyttades i juli 2012. Markvattenmätningarna startade 1990. Lufthaltsmätningarna startade i januari 1997. Mellan 2001 och 2002 var lufthaltsprovtagaren flyttad till en plats betydligt närmare E6:an.

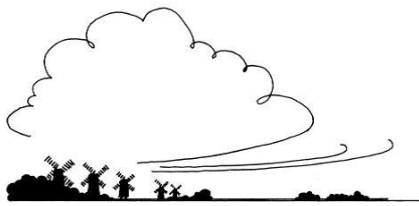
Mätningar med strängprovtagare vid öppet fält genomfördes 2001–2008 och återupptogs vid Hensbacka i juli 2013.

**Stora Ek (R 09)**

Yta med granskog, planterad 1941, där mätningarna av deposition och markvattenkemi påbörjades hösten 1995. Under januari 2019 påverkades ytan delvis av stormskador varför den slutavverkades i slutet av oktober 2021. En ny yta etablerades cirka 1,5 km öster om den gamla ytan i början av februari 2022. Granskogen vid den nya ytan är cirka 40 år gammal.



Skånes Luftvårdsförbund



KALMAR LÄNS LUFTVÅRDSFÖRBUND



Länsstyrelsen
i Jönköpings län



Länsstyrelsen
Skåne



Östergötlands
luftvårdsförbund



LÄNSSTYRELSEN
HALLANDS LÄN



LÄNSSTYRELSEN
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se